

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: Fernando Henrique Cardoso

Ministro da Agricultura e do Abastecimento: Francisco Turra

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA

Diretor-Presidente: Alberto Duque Portugal

Diretores: Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Ângela Battaggia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SUÍNOS E AVES - CNPSA

Chefe Geral: Dirceu João Duarte Talamini
Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios:
Paulo Roberto Souza da Silveira
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento:
Gilberto Silber Schmidt
Chefe Adjunto de Administração:
Claudinei Lugarini

USO DO RESFRIAMENTO EVAPORATIVO (ADIABÁTICO) NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Paulo Giovanni de Abreu
Valéria Maria Nascimento Abreu
Helenice Mazzuco



Suínos e Aves

Concórdia, SC
1999

Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 59

ISSN: 0101-6245

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Suínos e Aves
Br 153 - Km 110 - Vila Tamanduá
Caixa Postal 21
89.700-000 - Concórdia - SC

Telefone: (0xx49) 4428555
Fax: (0xx49) 4428559

Tiragem: 300 exemplares

Tratamento Editorial: Tânia Maria Biavatti Celant

ABREU, P.G. de; ABREU, V.M.N.; MAZZUCO, H. **Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. 50p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 59).

1. Frango de corte - ambiência. 2. Resfriamento evaporativo. 3. Bem estar. I. Abreu, V.M.N., colab. II, Mazzuco, H., colab. III. Título. IV. Série.

CDD 636.50832

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	05
2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RESFRIAMENTO (ADIABÁTICO) EVAPORATIVO.....	06
3. REGIÕES FAVORÁVEIS À UTILIZAÇÃO DO SISTEMA EVAPORATIVO.....	07
4. GRÁFICO PSICROMÉTRICO.....	14
4.1. Procedimento para o Uso do Gráfico Psicrométrico.....	16
5. SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO.....	19
5.1. <i>Pad Cooling</i>	21
5.2. Nebulização.....	25
6. DIMENSIONAMENTO DOS RESFRIADORES.....	40
7. DESEMPENHO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO.....	44
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

USO DO RESFRIAMENTO EVAPORATIVO (ADIABÁTICO) NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Paulo Giovanni de Abreu¹
Valéria Maria Nascimento Abreu²
Helenice Mazzuco³

1 - INTRODUÇÃO

A criação de aves nas regiões tropicais e sub-tropicais têm sido associada ao estresse calórico resultante de altas temperaturas no verão. Como conseqüências do estresse calórico, há declínio na produtividade, diminuição do consumo de ração e aumento da mortalidade.

No Brasil, a avicultura vem apresentando bons resultados nos últimos anos, seja na produção de carne ou de ovos. Esse aumento é conseqüência da adoção de tecnologias para maior produção e melhor conversão, entretanto, durante o verão a indústria avícola sofre grandes perdas.

A criação de frangos de corte em alta densidade, tem despertado interesse, pois pode propiciar ganhos à indústria avícola. Entretanto, com o aumento do número de aves, há maior produção de calor, aumento da temperatura, movimento restrito de ar à altura das aves. Temperaturas elevadas, quando não são letais, afetam a produtividade das aves.

¹ Eng. Agric., D.Sc., Embrapa Suínos e Aves, Caixa postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC.

² Zootec., D.Sc., Embrapa Suínos e Aves.

³ Zootec., M.Sc., Embrapa Suínos e Aves

Para manter a temperatura interna do aviário dentro da zona de conforto térmico das aves, várias alternativas têm sido sugeridas, como: orientação e dimensões dos aviários, lanternim, quebra-ventos, sombreiros, tipos de cobertura, forros, ventiladores, lanternim, paisagismo circundante ao aviário, materiais isolantes. Porém, essas alternativas em muitos casos, principalmente em regiões quentes, são insuficientes para manter a temperatura ambiente de acordo com as exigências das aves, sendo necessário promover o resfriamento do ar. No entanto, o resfriamento do ar se faz presente por meio do resfriamento evaporativo propiciando índices satisfatórios com maior produtividade e menor mortalidade de aves, em períodos quentes.

Dependendo das condições climáticas da região onde será implantado o sistema de resfriamento evaporativo é possível diminuir, 10°C ou mais, a temperatura do ar no interior do aviário.

Com esse documento objetiva-se orientar e dar subsídios aos profissionais da área de avicultura quanto ao uso do resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de aves.

2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RESFRIAMENTO (ADIABÁTICO) EVAPORATIVO

Quando a água evapora de uma superfície, essa superfície resfria-se porque a água requer calor para mudar do estado líquido para o de vapor. Cada grama de água evaporada retira 590 calorias em forma de calor sensível. Conforme o ar entra em contato com a água, esse a absorve. A quantidade de água absorvida depende da quantidade de água existente no ar. Dessa forma, quando o ar quente e insaturado entra em contato com uma superfície molhada, parte da água é evaporada. À medida que a vaporização tem lugar, o ar e a água resfriam-se e o processo continua até que o ar esteja saturado (Fig. 1). O resfriamento evaporativo é um processo adiabático, ou seja, não há nenhum ganho ou perda de calor. Portanto, a energia requerida para evaporar a água é suprida pelo ar com conseqüente umedecimento do ar insaturado e redução da temperatura de bulbo seco. Dessa forma, os sistemas de resfriamento evaporativo na criação de aves, são utilizados com o objetivo de reduzir a temperatura

interna do aviário minimizando os efeitos indesejáveis do estresse calórico sobre as aves.

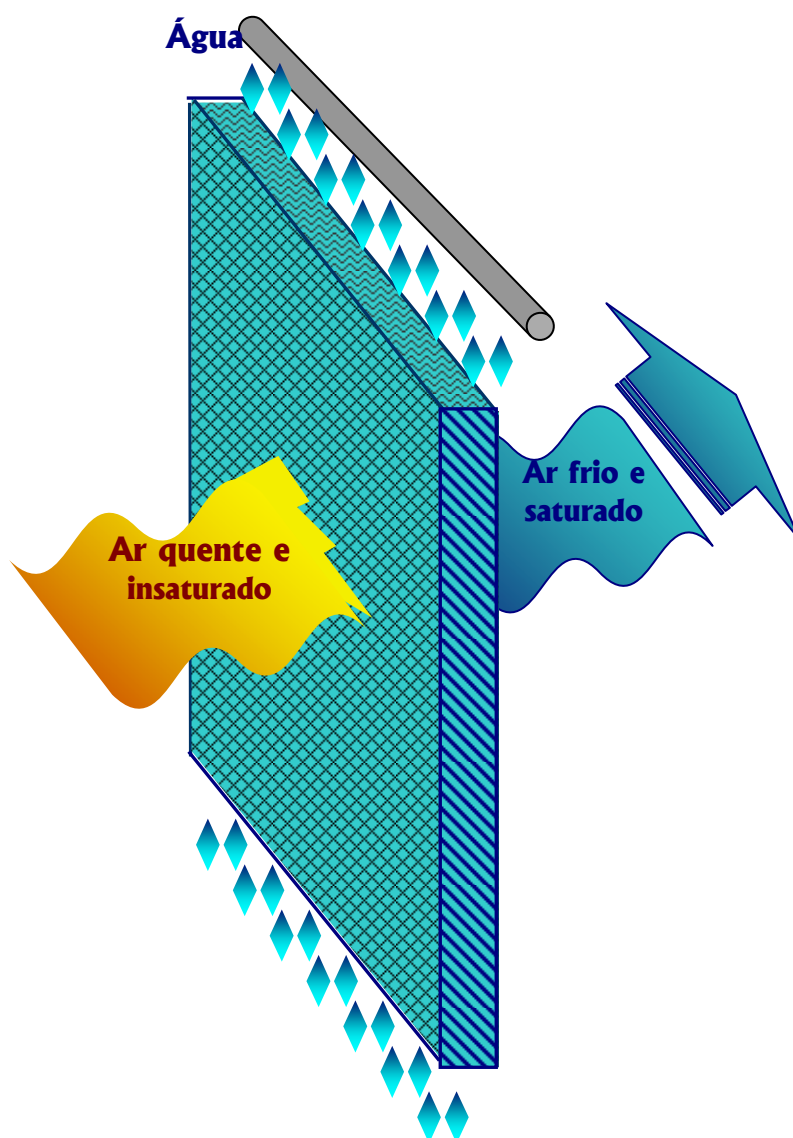


FIG. 1 – Esquema demonstrativo do processo de resfriamento evaporativo.

3 – REGIÕES FAVORÁVEIS À UTILIZAÇÃO DO SISTEMA EVAPORATIVO

A faixa de clima quente do planeta localiza-se entre as latitudes de 30°N e 30°S. Esse cinturão que rodeia o planeta, estende-se além da região tropical, que situa-se entre os trópicos de câncer e capricórnio, abrangendo as regiões subtropicais. Na Fig. 2, as áreas vermelhas são tipicamente secas e o resfriamento evaporativo é recomendado em muitas situações. Nas regiões compreendidas pela cor branca são consideradas frias não necessitando de resfriamento. Já, nas regiões compreendidas pelas cores amarela e verde o resfriamento evaporativo proporciona algum alívio do calor desde que, a umidade relativa do ar não seja alta.

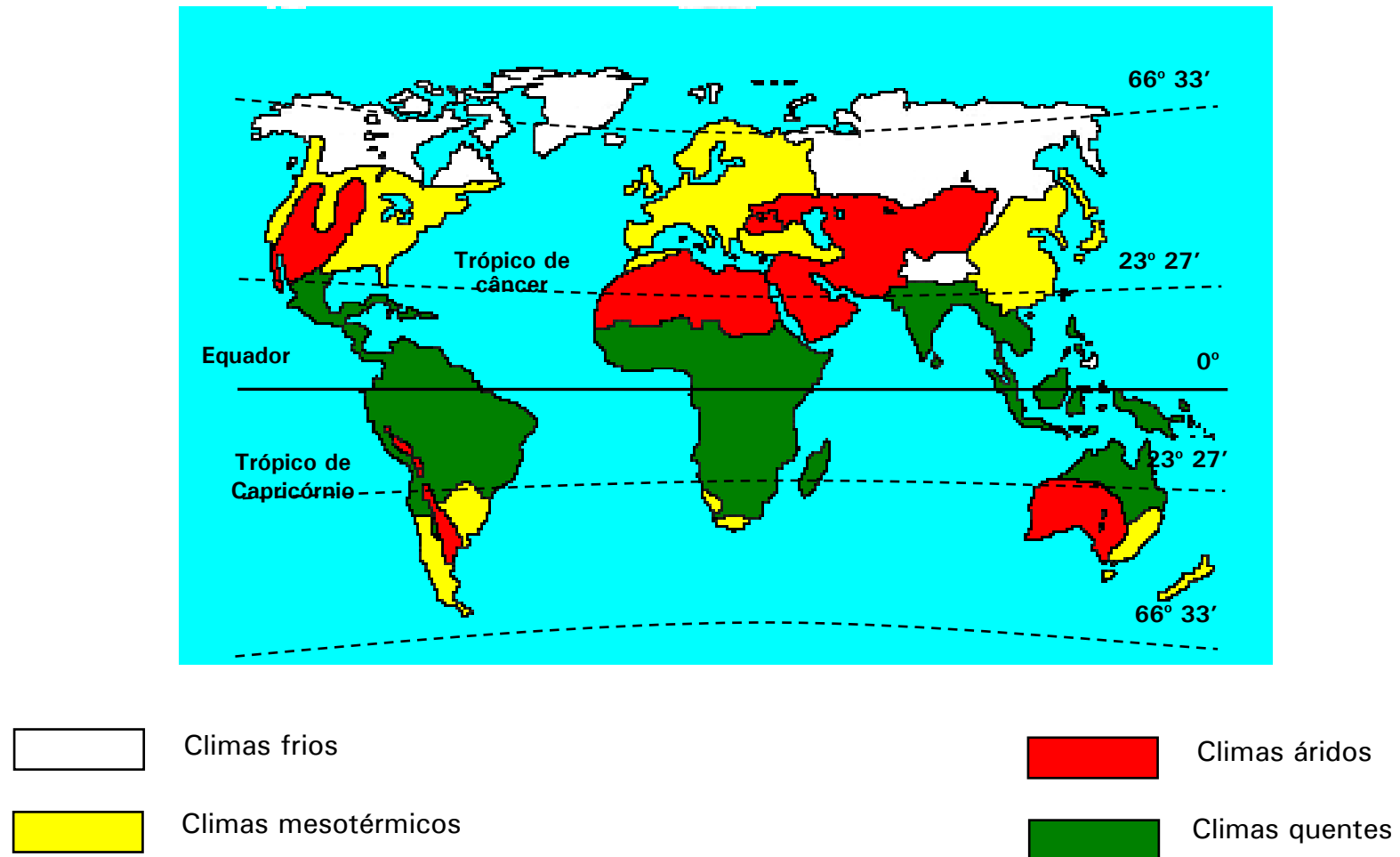


FIG. 2 – Classificação climática da terra (Moreira, 1985).

Como pode ser visto na Fig. 3, o Brasil possui grande diversidade climática. Apesar dessa diversidade, somente nas regiões com clima Af (temperatura média anual alta e constantemente úmido) não é recomendado o resfriamento evaporativo. Nas demais regiões é possível a utilização do resfriamento evaporativo porém, deve ser feita análise prévia do potencial de redução da temperatura ambiente, através desse processo. Isso porque, os climas úmidos podem apresentar estações secas, da mesma forma que os climas secos podem exibir estações úmidas, assim como, no decorrer do dia, a umidade relativa do ar também varia. Essa encontra-se com valores mais baixos durante o período da tarde, quando a temperatura do ar apresenta valores elevados. É esse o período mais estressante para as aves, justificando muitas vezes a adoção do resfriamento evaporativo em regiões úmidas, por um período curto de funcionamento do sistema.

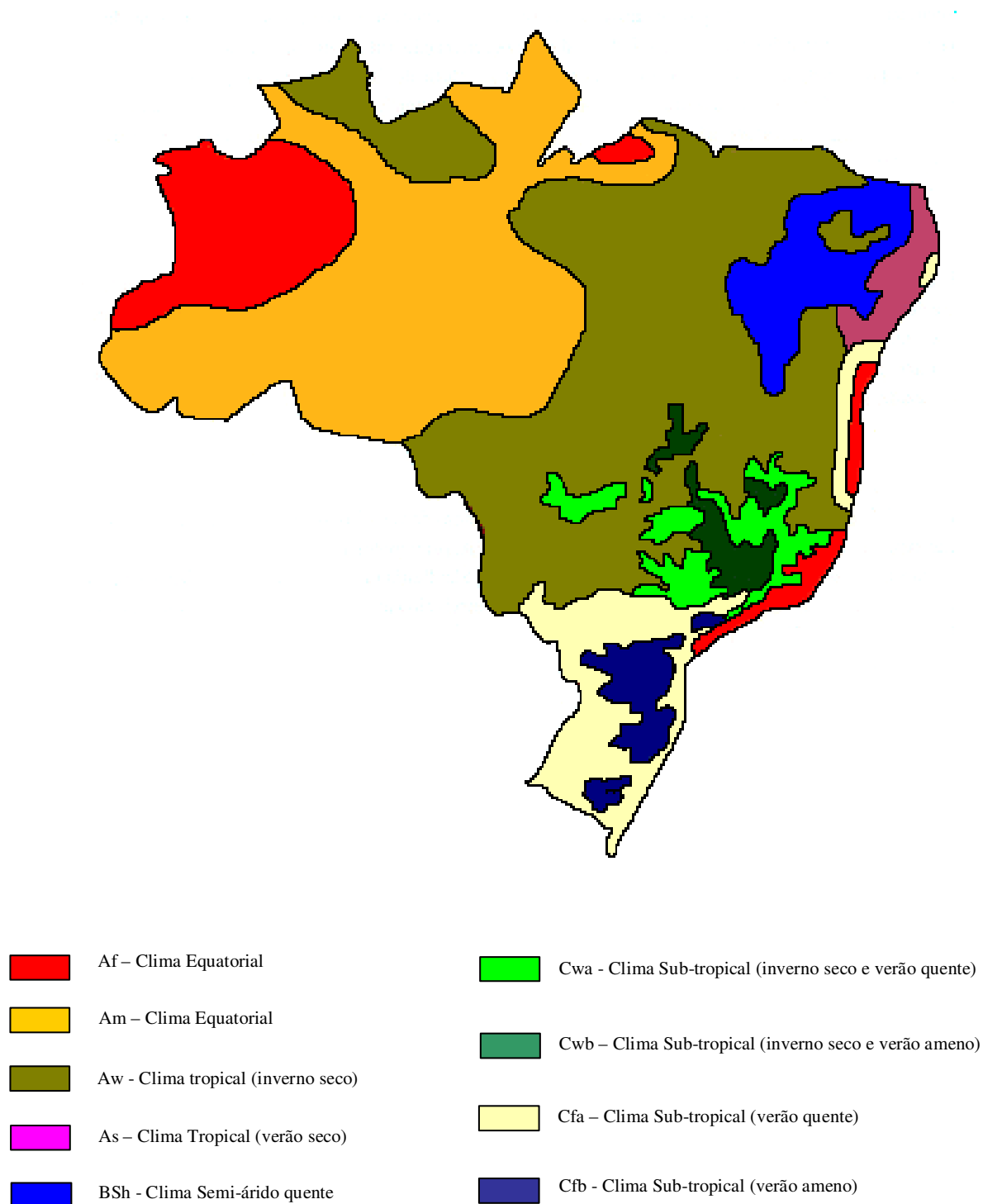


FIG. 3 – Classificação climática do Brasil – KÖPPEN (Moreira, 1985; Carvalho, 1994).

Uma maneira prática de se decidir sobre a adoção ou não, do resfriamento evaporativo é fazendo a análise do potencial de redução da temperatura ambiente por esse processo, em relação a umidade relativa e a temperatura da região. Na Tabela 1 estão apresentados os valores de umidade relativa do ar. O exemplo que segue, mostra como operar essa tabela. Qual é a umidade relativa do ar quando a temperatura de bulbo seco (Tbs) for de 35°C e a temperatura de bulbo úmido (Tbu) for de 20°C?

Procura-se o valor de 35°C na coluna correspondente ao termômetro de bulbo seco (Tbs) e segue-se horizontalmente até a coluna cuja depressão psicrométrica (Tbs - Tbu) seja igual a 15°C (35 - 20). Tem-se, como conclusão, que a umidade relativa do ar para as condições propostas é de 23,7%.

Considerando o exemplo anterior, quantos graus celsius o resfriamento evaporativo consegue reduzir na temperatura de bulbo seco, elevando-se a umidade relativa do ar para 100%?

Pela Tabela 1 verificou-se que o ar está com 23,7% de umidade relativa.

Na Tabela 2 estão representados os valores do potencial de redução da temperatura do ar pelo sistema de resfriamento evaporativo até a condição de saturação do ar (UR = 100%). O uso da Tabela 2 é realizado entrando-se com valor de temperatura de bulbo seco (Tbs) e o valor de umidade relativa do ar (UR). Dessa forma o potencial de redução da temperatura do ar para Tbs = 35°C e UR = 23,7% é de 15°C. Para efeito prático considera-se 80% do valor encontrado. Então o valor prático do potencial de redução da temperatura do ar é de 12°C (15 x 80%). Esse valor representa a quantidade máxima de redução da temperatura do ar para as condições propostas ou seja, utilizando o resfriamento evaporativo, a temperatura do ar passa de 35°C para 23°C (35 - 12).

TABELA 1- Valores de umidade relativa do ar, em (%), para pressão barométrica de 760 mmHg (1013 mbar).

Tbs (°C)	Depressão Psicrométrica (Tbs-Tbu) em °C																													
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
1	91,5	83,0	74,7	66,5	58,4	50,4	42,5	34,7	27,0	19,3	11,8																			
2	91,8	83,8	75,8	68,0	60,2	52,6	45,1	37,6	30,2	23,0	15,8																			
3	92,2	84,5	76,9	69,4	61,9	54,6	47,4	40,3	33,3	26,4	19,5	12,7	6,1																	
4	92,5	85,1	77,8	70,6	63,5	56,5	49,7	42,8	36,1	29,5	23,0	16,5	10,1	3,8																
5	92,8	85,7	78,7	71,8	65,0	58,3	51,7	45,2	38,8	32,4	26,2	20,0	13,9	7,9																
6	93,1	86,2	79,5	72,9	66,4	60,0	53,6	47,4	41,2	35,1	29,1	23,2	17,4	11,6	5,9															
7	93,3	86,8	80,3	73,9	67,7	61,5	55,4	49,4	43,5	37,7	31,9	26,2	20,7	15,1	9,7															
8	93,6	87,2	81,0	74,9	68,9	62,9	57,1	51,3	45,6	40,0	34,5	29,1	23,7	18,4	13,2	8,0														
9	93,8	87,7	81,7	75,8	70,0	64,2	58,6	53,1	47,6	42,2	36,9	31,7	26,5	21,4	16,4	11,5	6,6													
10	94,0	88,1	82,3	76,6	71,0	65,5	60,1	54,7	49,4	44,3	39,1	34,1	29,2	24,3	19,4	14,7	10,0													
11	94,2	88,5	82,9	77,4	72,0	66,6	61,4	56,2	51,2	46,2	41,2	36,4	31,6	26,9	22,3	17,7	13,2	8,8												
12	94,4	88,9	83,5	78,1	72,9	67,7	62,7	57,7	52,8	47,9	43,2	38,5	33,9	29,4	24,9	20,5	16,2	11,9												
13	94,6	89,2	84,0	78,8	73,7	68,7	63,8	59,0	54,3	49,6	45,0	40,5	36,1	31,7	27,4	23,1	19,0	14,8	10,8	6,8										
14	94,7	89,5	84,4	79,4	74,5	69,7	64,9	60,3	55,7	51,2	46,7	42,4	38,1	33,8	29,7	25,6	21,5	17,6	13,7	9,8	6,0									
15	94,9	89,8	84,9	80,0	75,3	70,6	66,0	61,5	57,0	52,6	48,3	44,1	39,9	35,9	31,8	27,9	24,0	20,1	16,4	12,6	9,0	5,4								
16	95,0	90,1	85,3	80,6	76,0	71,4	66,9	62,6	58,2	54,0	49,8	45,7	41,7	37,7	33,8	30,0	26,2	22,5	18,9	15,3	11,7	8,3	4,8							
17	95,1	90,4	85,7	81,1	76,6	72,2	67,9	63,6	59,4	55,3	51,2	47,3	43,4	39,5	35,7	32,0	28,4	24,8	21,2	17,8	14,3	11,0	7,7	4,4						
18	95,3	90,6	86,1	81,6	77,2	72,9	68,7	64,6	60,5	56,5	52,6	48,7	44,9	41,2	37,5	33,9	30,4	26,9	23,5	20,1	16,8	13,5	10,3	7,1	4,0					
19	95,4	90,9	86,4	82,1	77,8	73,6	69,5	65,5	61,5	57,6	53,8	50,0	46,4	42,7	39,2	35,7	32,2	28,9	25,5	22,3	19,1	15,9	12,8	9,7	6,7	3,7				
20	95,5	91,1	86,8	82,5	78,4	74,3	70,3	66,3	62,5	58,7	55,0	51,3	47,7	44,2	40,7	37,3	34,0	30,7	27,5	24,3	21,2	18,1	15,1	12,2	9,2	6,4	3,5			
21	95,6	91,3	87,1	82,9	78,9	74,9	71,0	67,2	63,4	59,7	56,1	52,5	49,0	45,6	42,2	38,9	35,7	32,5	29,3	26,2	23,2	20,2	17,3	14,4	11,6	8,8	6,1	3,4		
22	95,7	91,5	87,4	83,3	79,4	75,5	71,7	67,9	64,2	60,6	57,1	53,6	50,2	46,9	43,6	40,4	37,2	34,1	31,1	28,1	25,1	22,2	19,4	16,6	13,8	11,1	8,4	5,8	3,3	
23	95,8	91,7	87,7	83,7	79,8	76,0	72,3	68,6	65,1	61,5	58,1	54,7	51,4	48,1	44,9	41,8	38,7	35,7	32,7	29,8	26,9	24,1	21,3	18,6	15,9	13,3	10,7	8,1	5,6	3,2
24	95,9	91,9	87,9	84,0	80,3	76,5	72,9	69,3	65,8	62,4	59,0	55,7	52,5	49,3	46,1	43,1	40,1	37,1	34,2	31,4	28,6	25,8	23,1	20,5	17,9	15,3	12,8	10,3	7,9	5,5
25	96,0	92,0	88,2	84,4	80,7	77,0	73,5	70,0	66,5	63,2	59,9	56,6	53,5	50,4	47,3	44,3	41,4	38,5	35,7	32,9	30,1	27,5	24,8	22,3	19,7	17,2	14,8	12,4	10,0	7,7
26	96,1	92,2	88,4	84,7	81,1	77,5	74,0	70,6	67,2	63,9	60,7	57,5	54,4	51,4	48,4	45,5	42,6	39,8	37,0	34,3	31,6	29,0	26,5	23,9	21,5	19,0	16,6	14,3	12,0	9,7
27	96,1	92,3	88,6	85,0	81,4	77,9	74,5	71,2	67,9	64,6	61,5	58,4	55,3	52,4	49,4	46,6	43,8	41,0	38,3	35,7	33,0	30,5	28,0	25,5	23,1	20,7	18,4	16,1	13,9	11,7
28	96,2	92,5	88,8	85,3	81,8	78,3	75,0	71,7	68,5	65,3	62,2	59,2	56,2	53,3	50,4	47,6	44,9	42,2	39,5	36,9	34,4	31,9	29,4	27,0	24,7	22,3	20,1	17,8	15,6	13,5
29	96,3	92,6	89,0	85,5	82,1	78,7	75,4	72,2	69,1	66,0	62,9	59,9	57,0	54,2	51,4	48,6	45,9	43,3	40,7	38,1	35,6	33,2	30,8	28,4	26,1	23,9	21,6	19,5	17,3	15,2
30	96,3	92,7	89,2	85,8	82,4	79,1	75,9	72,7	69,6	66,6	63,6	60,7	57,8	55,0	52,2	49,5	46,9	44,3	41,8	39,3	36,8	34,4	32,1	29,8	27,5	25,3	23,1	21,0	18,9	16,8
31	96,4	92,9	89,4	86,0	82,7	79,5	76,3	73,2	70,1	67,1	64,2	61,3	58,5	55,8	53,1	50,4	47,8	45,3	42,8	40,4	38,0	35,6	33,3	31,0	28,8	26,7	24,5	22,4	20,4	18,4
32	96,5	93,0	89,6	86,3	83,0	79,8	76,7	73,6	70,6	67,7	64,8	62,0	59,2	56,5	53,9	51,3	48,7	46,2	43,8	41,4	39,0	36,7	34,5	32,3	30,1	27,9	25,9	23,8	21,8	19,8
33	96,5	93,1	89,8	86,5	83,3	80,1	77,1	74,0	71,1	68,2	65,4	62,6	59,9	57,2	54,6	52,1	49,6	47,1	44,7	42,4	40,0	37,8	35,6	33,4	31,3	29,2	27,1	25,1	23,1	21,2
34	96,6	93,2	89,9	86,7	83,5	80,4	77,4	74,5	71,6	68,7	65,9	63,2	60,5	57,9	55,3	52,8	50,4	48,0	45,6	43,3	41,0	38,8	36,6	34,5	32,4	30,3	28,3	26,3	24,4	22,5
35	96,6	93,3	90,1	86,9	83,8	80,7	77,8	74,8	72,0	69,2	66,4	63,8	61,1	58,6	56,0	53,6	51,1	48,8	46,4	44,2	41,9	39,7	37,6	35,5	33,4	31,4	29,5	27,5	25,6	23,7
36	96,7	93,4	90,2	87,1	84,0	81,0	78,1	75,2	72,4	69,6	66,9	64,3	61,7	59,2	56,7	54,2	51,9	49,5	47,2	45,0	42,8	40,7	38,5	36,5	34,5	32,5	30,5	28,6	26,8	24,9
37	96,7	93,5	90,3	87,3	84,2	81,3	78,4	75,6	72,8	70,1	67,4	64,8	62,3	59,8	57,3	54,9	52,6	50,3	48,0	45,8	43,6	41,5	39,4	37,4	35,4	33,5	31,6	29,7	27,8	26,0
38	96,8	93,6	90,5	87,4	84,5	81,5	78,7	75,9	73,2	70,5	67,9	65,3	62,8	60,3	57,9	55,5	53,2	51,0	48,7	46,6	44,4	42,3	40,3	38,3	36,3	34,4	32,5	30,7	28,9	27,1
39	96,8	93,7	90,6	87,6	84,7	81,8	79,0	76,2	73,5	70,9	68,3	65,8	63,3	60,8	58,5	56,1	53,9	51,6	49,4	47,3	45,2	43,1	41,1	39,1	37,2	35,3	33,5	31,7	29,9	28,1
40	96,8	93,8	90,7	87,8	84,9	82,0	79,3	76,5	73,9	71,3	68,7	66,2	63,8	61,4	59,0	56,7	54,5	52,3	50,1	48,0	45,9	43,9	41,9	40,0	38,1	36,2	34,4	32,6	30,8	29,1
41	96,9																													

TABELA 2 - Potencial de redução da temperatura ambiente através do resfriamento evaporativo, ao elevar a umidade relativa do ar à 100%

T _b s (°C)	Umidade Relativa, em %																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	91	83	74	66	58	50	42	34	27	19	11																		
2	91	83	75	68	60	52	45	37	30	23	15																		
3	92	84	76	69	61	54	47	40	33	26	19	12	6,1																
4	92	85	77	70	63	56	49	42	36	29	23	16	10	3,8															
5	92	85	78	71	65	58	51	45	38	32	26	20	13	7,9															
6	93	86	79	72	66	60	53	47	41	35	29	23	17	11	5,9														
7	93	86	80	73	67	61	55	49	43	37	31	26	20	15	9,7														
8	93	87	81	74	68	62	57	51	45	40	34	29	23	18	13	8,0													
9	93	87	81	75	70	64	58	53	47	42	36	31	26	21	16	11	6,6												
10	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	39	34	29	24	19	14	10												
11	94	88	82	77	72	66	61	56	51	46	41	36	31	26	22	17	13	8,8											
12	94	88	83	78	72	67	62	57	52	47	43	38	33	29	24	20	16	11											
13	94	89	84	78	73	68	63	59	54	49	45	40	36	31	27	23	19	14	10	6,8									
14	94	89	84	79	74	69	64	60	55	51	46	42	38	33	29	25	21	17	13	9,8	6,0								
15	94	89	84	80	75	70	66	61	57	52	48	44	39	35	31	27	24	20	16	12	9,0	5,4							
16	95	90	85	80	76	71	66	62	58	54	49	45	41	37	33	30	26	22	18	15	11	8,3	4,8						
17	95	90	85	81	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	32	28	24	21	17	14	11	7,7	4,4					
18	95	90	86	81	77	72	68	64	60	56	52	48	44	41	37	33	30	26	23	20	16	13	10	7,1	4,0				
19	95	90	86	82	77	73	69	65	61	57	53	50	46	42	39	35	32	28	25	22	19	15	12	9,7	6,7	3,7			
20	95	91	86	82	78	74	70	66	62	58	55	51	47	44	40	37	34	30	27	24	21	18	15	12	9,2	6,4	3,5		
21	95	91	87	82	78	74	71	67	63	59	56	52	49	45	42	38	35	32	29	26	23	20	17	14	11	8,8	6,1	3,4	
22	95	91	87	83	79	75	71	67	64	60	57	53	50	46	43	40	37	34	31	28	25	22	19	16	13	10	8,4	5,8	
23	95	91	87	83	79	76	72	68	65	61	58	54	51	48	44	41	38	35	32	29	26	24	21	18	15	13	10	5,6	
24	95	91	87	84	80	76	72	69	65	62	59	55	52	49	46	43	40	37	34	31	28	25	23	20	17	15	12	7,9	
25	96	92	88	84	80	77	73	70	66	63	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	30	27	24	22	19	17	14	10	
26	96	92	88	84	81	77	74	70	67	63	60	57	54	51	48	45	42	39	37	34	31	29	26	23	21	19	16	12	
27	96	92	88	85	81	77	74	71	67	64	61	58	55	52	49	46	43	41	38	35	33	30	28	25	23	20	18	14	
28	96	92	88	85	81	78	75	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	42	39	36	34	31	29	27	24	22	20	17	
29	96	92	89	85	82	78	75	72	69	66	62	59	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	30	28	26	23	21	19	
30	96	92	89	85	82	79	76	72	69	66	63	60	57	55	52	49	46	44	41	39	36	34	32	29	27	25	23	21	
31	96	92	89	86	82	79	76	73	70	67	64	61	58	55	53	50	47	45	42	40	38	35	33	31	28	26	24	20	
32	96	93	89	86	83	79	76	73	70	67	64	62	59	56	53	51	48	46	43	41	39	36	34	32	30	27	25	23	
33	96	93	89	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52	49	47	44	42	40	37	35	33	31	29	27	25	
34	96	93	89	86	83	80	77	74	71	68	65	63	60	57	55	52	50	48	45	43	41	38	36	34	32	30	28	26	
35	96	93	90	86	83	80	77	74	72	69	66	63	61	58	56	53	51	48	46	44	41	39	37	35	33	31	29	27	
36	96	93	90	87	84	81	78	75	72	69	66	64	61	59	56	54	51	49	47	45	42	40	38	36	34	32	30	28	
37	96	93	90	87	84	81	78	75	72	70	67	64	62	59	57	54	52	50	48	46	43	41	39	37	35	33	31	29	
38	96	93	90	87	84	81	78	75	73	70	67	65	62	60	57	55	53	51	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	
39	96	93	90	87	84	81	79	76	73	70	68	65	63	60	58	56	53	51	49	47	45	43	41	40	38	37	35	33	
40	96	93	90	87	84	82	79	76	73	71	68	66	63	61	59	56	54	52	50	48	45	43	41	40	38	36	34	32	
41	96	93	90	87	85	82	79	76	74	71	69	66	64	61	59	57	55	52	50	48	46	44	42	40	38	37	35	33	
42	96	93	91	88	85	82	79	77	74	72	69	67	64	62	60	57	55	53	51	49	47	45	43	41	39	37	36	34	
43	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	69	67	65	62	60	58	56	54	51	49	47	46	44	42	40	38	36	35	
44	97	94	91	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	63	61	58	56	54	52	50	48	46	44	42	41	39	37	36	
45	97	94	91	88	85	83	80	77	75	72	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	41	40	38	36	
Potencial de redução da temperatura ambiente, em °C																													
-	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5

Obs: Esses são potenciais teóricos. Sugere-se para efeito prático, considerar 80% do valor encontrado.

4 – GRÁFICO PSICROMÉTRICO

Consiste em determinar os parâmetros que caracterizam as condições atmosféricas por meio de um ábaco, cuja construção baseia-se em equações termodinâmicas. Nesse gráfico se encontram toda discussão a respeito do resfriamento evaporativo e as possíveis combinações das propriedades do ar normalmente utilizadas. As principais propriedades da mistura ar e vapor d'água relacionadas no gráfico psicrométrico da Fig. 4, à pressão constante de 760 mmHg (1013 mbar) são:

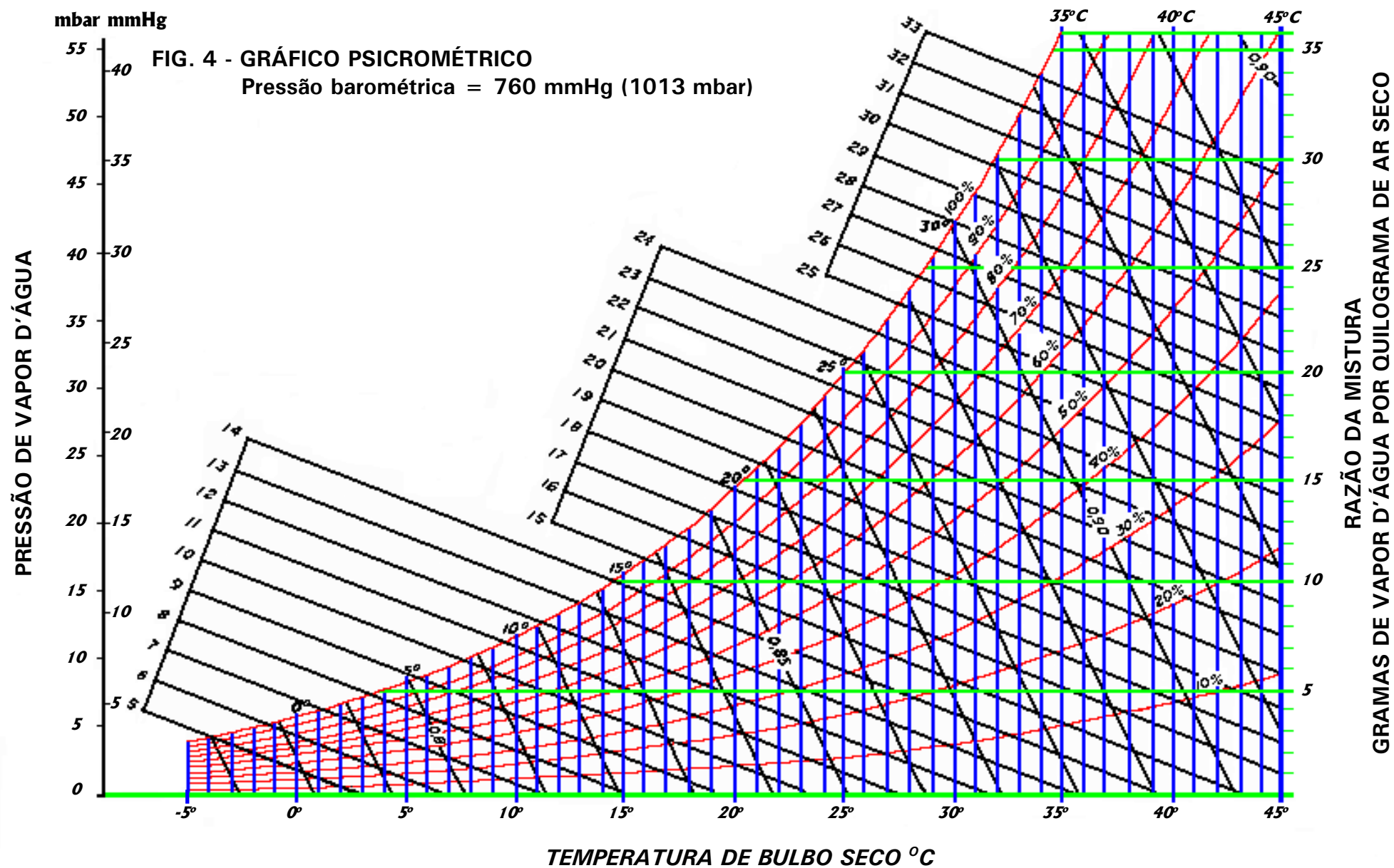
Temperatura de bulbo seco (Tbs)– é a temperatura registrada pelo termômetro comum, referindo-se simplesmente à temperatura do ar. São representadas na Fig. 4, pelo eixo x, expressa em °C.

Temperatura de bulbo úmido (Tbu)– é a temperatura registrada por um termômetro de bulbo úmido, ou seja, o bulbo do termômetro é recoberto por tecido de algodão úmido. O valor de temperatura de bulbo úmido é tipicamente menor que o de bulbo seco. Somente algumas vezes as temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco serão as mesmas na saturação (100% de Umidade Relativa). São representadas na Fig. 4 pelas linhas inclinadas para baixo, para a direita, partindo-se da curva superior à esquerda do gráfico, expressa em °C. Em muitas aplicações, essas mesmas linhas podem ser usadas para representar a entalpia.

Ponto de Orvalho (PO)– é a temperatura na qual o ar torna-se saturado (100% UR). Na Fig. 4 é lida ao longo da linha de saturação (100% UR), expressa em °C.

Umidade Relativa (UR) – é a relação entre a massa de vapor d'água contida em um volume de ar e a massa de vapor d'água do ar saturado, para mesma temperatura. São representadas na Fig. 4 pelas linhas curvas para baixo, para a esquerda, expressa em %.

Volume Específico (VE) – é o volume ocupado por uma unidade de massa de ar seco. São representados na Fig. 4 pelas linhas inclinadas para baixo à aproximadamente 65°, para a direita, partindo-se da curva superior à esquerda do gráfico, expresso em m³ de ar seco/kg de ar seco. Indicam o número de metros cúbicos de ar necessários para fornecer um quilo de ar seco.



Pressão de Vapor (PV) – é a pressão parcial de vapor d'água no ar. São representadas na Fig. 4 pelo eixo Y à esquerda do gráfico, expressa em mbar ou mmHg.

Razão de mistura (RM) – é a razão entre a quantidade de vapor d'água e a quantidade de ar completamente seco. É representada na Fig. 4 pelo eixo Y à direita do gráfico, expressa em gramas de vapor d'água/kg de ar seco.

Entalpia (En)– é o conteúdo total de calor da mistura. Na Fig. 4, acima da curva de saturação (100% UR), encontram-se três segmentos de retas onde se lê a entalpia, expressa em kcal/kg de ar seco.

4.1 – Procedimento para o Uso do Gráfico Psicrométrico

Quando se conhece os valores de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, traça-se, a partir do valor de temperatura de bulbo úmido lido sobre a linha de UR = 100%, a paralela à linha de entalpia e, a seguir, levanta-se a perpendicular à linha das temperaturas de bulbo seco no ponto correspondente à temperatura do ar (Fig. 5). A intersecção das linhas traçadas determina sobre o gráfico, um ponto denominado **Ponto de Estado "A"**. O ponto de estado pode ser determinado usando-se dois parâmetros quaisquer desde que não sejam interdependentes como ocorre com a pressão de vapor e a razão de mistura. A partir do ponto de estado pode-se conhecer todas as características da massa de ar que são focalizadas no gráfico, a saber:

Ponto de Orvalho: a partir do ponto de estado traça-se uma paralela à linha das temperaturas de bulbo seco e lê-se na curva de UR = 100% o valor correspondente.

Umidade Relativa: desde que as linhas curvas indicam a UR, basta observar qual linha coincide com o ponto de estado. Caso não haja coincidência faz-se a interpolação.

Volume Específico: o valor de volume específico é lido no ponto de estado na linha correspondente a essa propriedade do ar. Quando não há coincidência com uma das linha de volume específico, faz-se a interpolação.

Pressão de Vapor: a partir do ponto de estado traça-se para esquerda uma paralela à linha das temperaturas de bulbo seco, até as escalas das pressões de vapor d'água em mmbar ou mmHg.

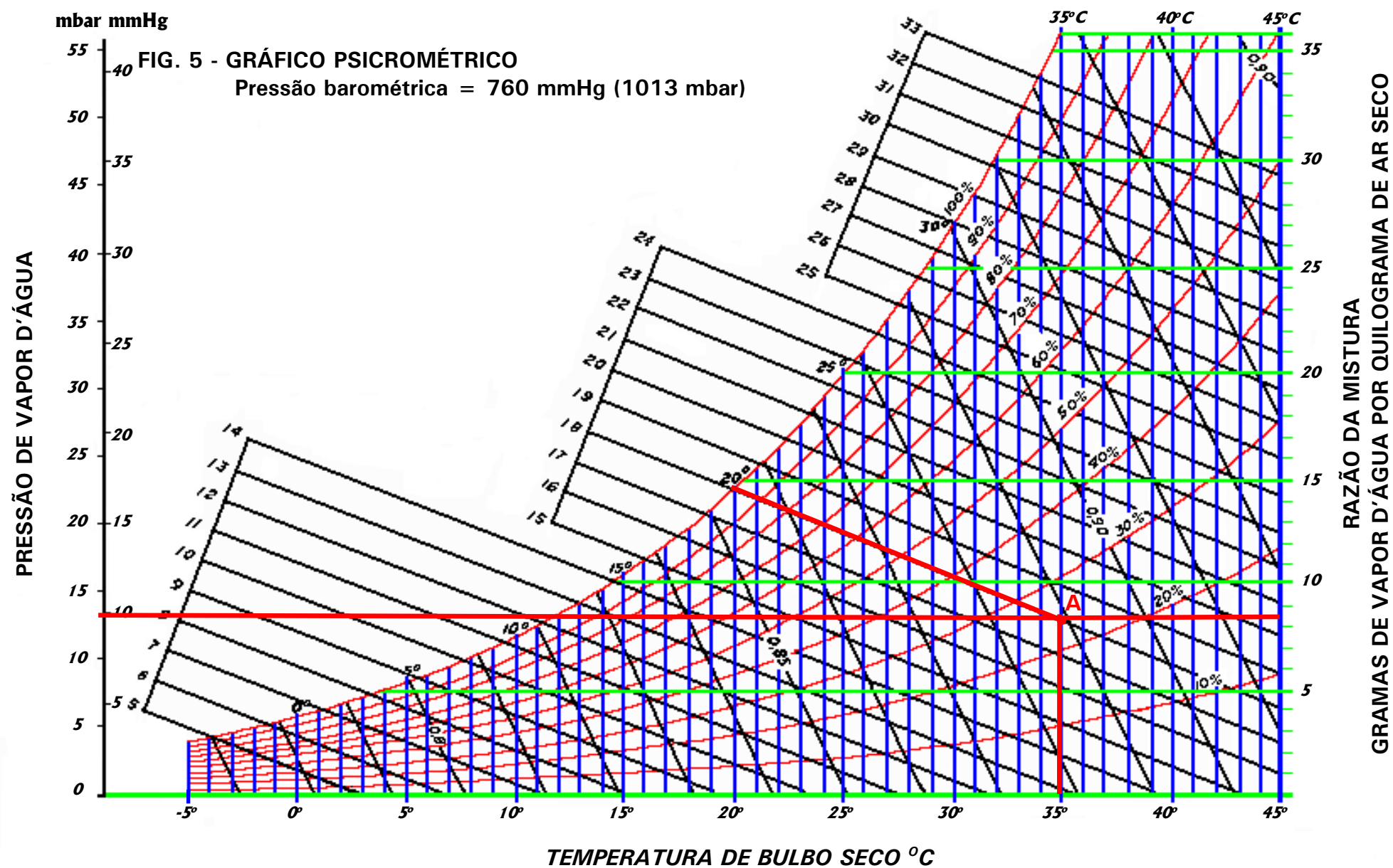
Razão de mistura: a partir do ponto de estado traça-se para direita uma paralela à linha das temperaturas de bulbo seco até encontrar a linha correspondente à razão de mistura.

Entalpia: partir do ponto de estado projete uma paralela às linhas de menor inclinação até alcançar a escala da entalpia.

Como exemplo do uso gráfico psicrométrico, determinar as características que apresenta uma massa de ar cuja temperatura seja 35°C, e cujo ponto de orvalho seja 18°C.

Determinando o ponto de estado na Fig. 5 do exemplo anterior tem-se:

Umidade Relativa = 23,7%, **Volume Específico** = 0,889 m³/kg de ar seco, **Razão de Mistura** = 8,2 g de vapor d'água/Kg de ar seco, **Pressão de Vapor** = 13,3 mbar ou 10 mm de Hg, **Entalpia** = 18 Kcal/kg de ar seco e **Temperatura de Bulbo Úmido** = 20°C.



5 – SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

No Brasil, os sistemas de resfriamento evaporativo comumente utilizados no interior dos aviários, consistem basicamente dos sistemas de “*pad cooling*” e nebulização (baixa e alta pressão). O processo evaportivo é utilizado também em sistema acoplado de ventilação e umidificação (Fig. 6). Alguns produtores utilizam o sistema de aspersão sobre a cobertura do aviário para minimizar o efeito da carga térmica radiante nas aves (Fig. 7).

Os sistemas de *pad cooling* requerem ventilação mecânica para forçar o ar através dos painéis evaporativos e nos sistemas de nebulização podem ser empregados a ventilação natural ou mecânica.

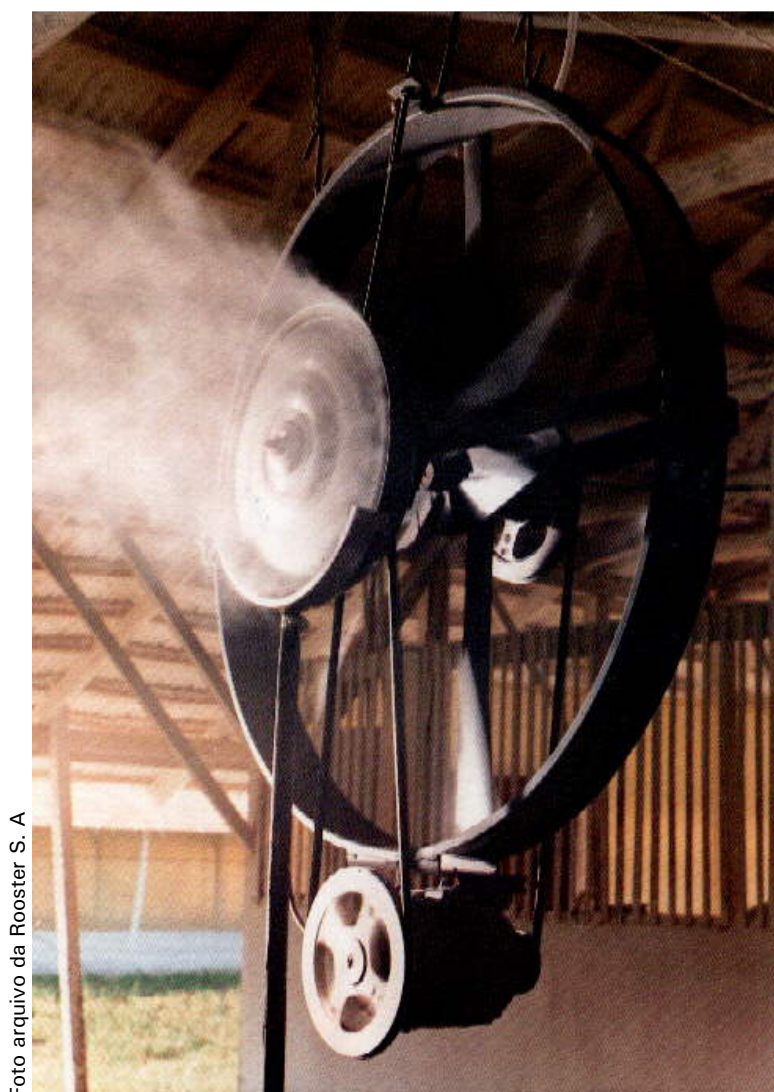


Foto arquivo da Rooster S. A

FIG. 6 – Sistema acoplado de ventilação e umidificação.



FIG. 7 – Sistema de aspersão sobre a cobertura.

5.1 - *Pad cooling*

O sistema de *pad cooling* é comumente utilizado em aviários climatizados que consiste de um sistema totalmente automatizado com ventilação negativa em túnel de vento. Os painéis evaporativos utilizados nesse processo são geralmente de material especial de celulose, mantidos constantemente umedecidos, através do qual o ar passa e resfria-se antes de entrar no interior do aviário. O suprimento de água nos painéis evaporativos pode ser realizado por tubulação de água instalada na parte superior (sistema tradicional) ou por aspersão de água na frente do painel evaporativo (sistema aspersão-pad).

No sistema tradicional, uma tubulação de PVC com pequenos orifícios é instalada na parte superior do painel evaporativo a qual, a água bombeada é distribuída uniformemente no topo do painel evaporativo. A água infiltra através do painel evaporativo formando um filme que cobre a superfície interna. Possuem geometria especial para que o ar passe através de pequenas aberturas, criando condição ideal de máxima evaporação (Fig. 8). A água não evaporada é coletada por calha e direcionada à caixa d'água, onde é bombeada para a parte superior do painel evaporativo para reutilização (Fig. 9).

O sistema aspersão-pad, consiste do painel evaporativo tradicional de celulose instalado na entrada de ar do aviário. Duas a quatro linhas de bicos aspersores localizados em frente ao painel evaporativo aspergem água sobre esse. Para evitar que a quantidade de água não evaporada, molhe o solo próximo ao sistema, nas imediações são depositadas britas ou feito o plantio de grama (Fig. 10).

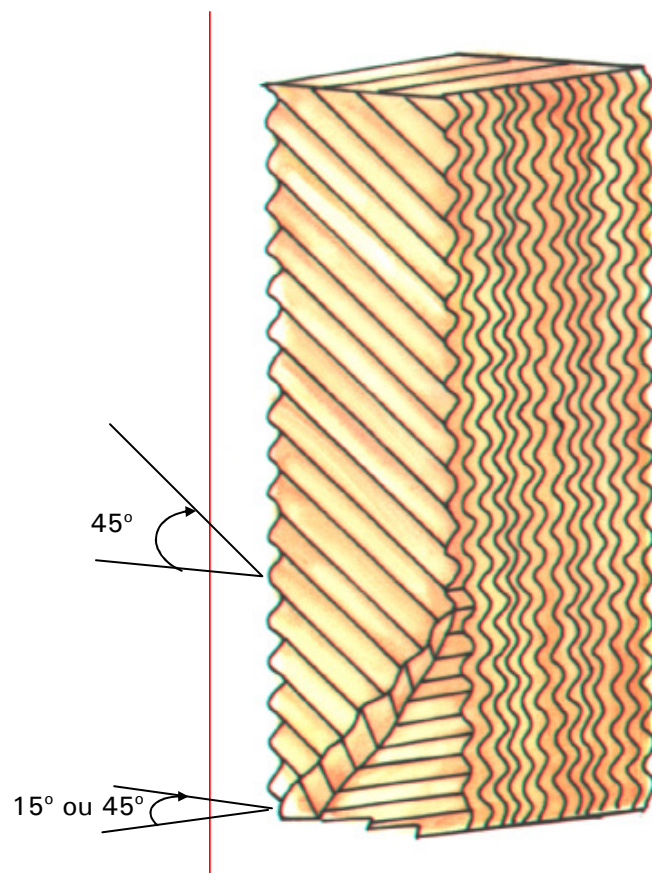


FIG. 8 – Geometria do painel evaporativo.



FIG. 9 – Sistema de resfriamento evaporativo, tradicional, com abastecimento de água superior.

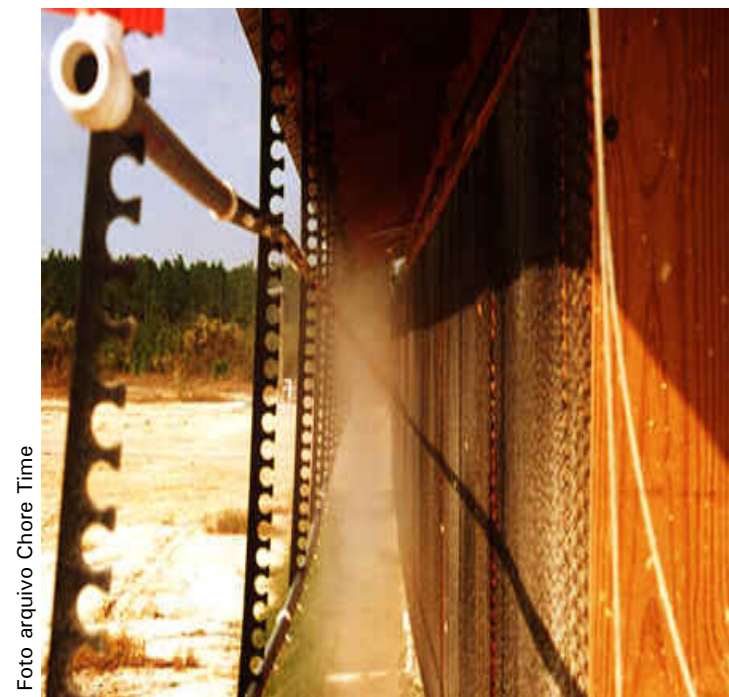
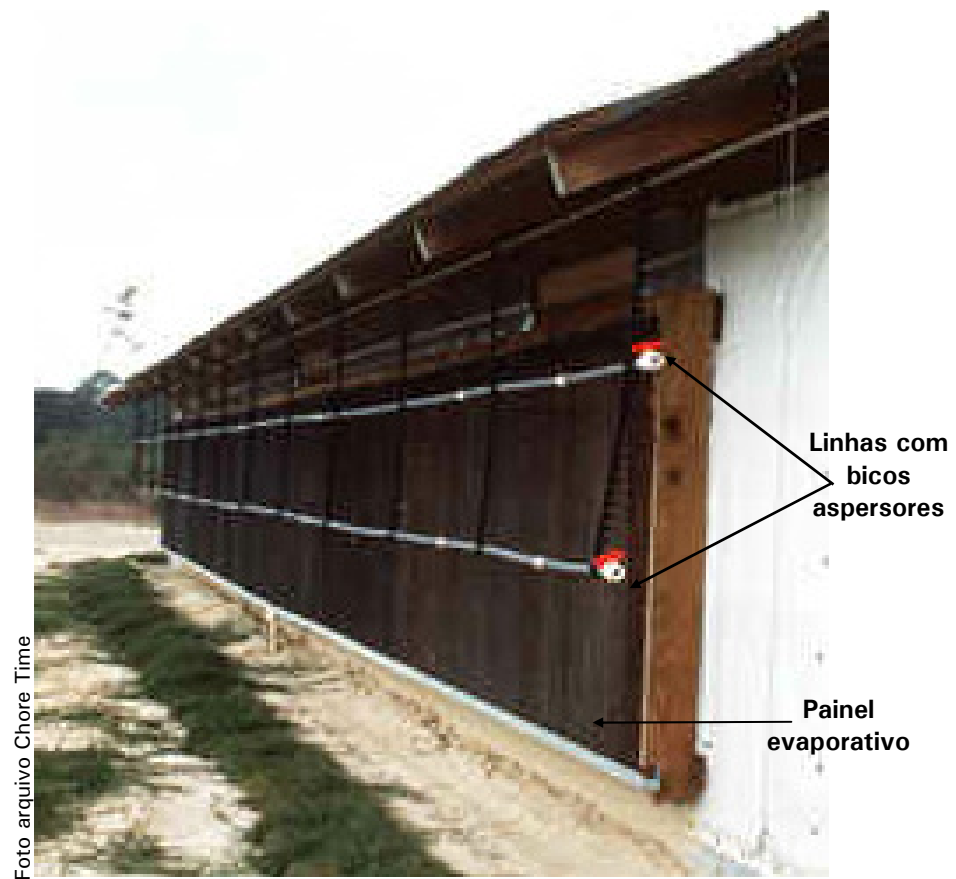


FIG. 10 – Sistema de aspersão-pad.

5.2 - Nebulização

O sistema de nebulização é constituído de bicos nebulizadores que fragmentam a água, em minúsculas gotas, distribuindo-a no interior do aviário na forma de jato d'água. Esse sistema pode ser operado em alta e baixa pressão. Quanto maior a pressão de trabalho do sistema maior será a quebra da gota d'água. Quando a quebra do diâmetro da gota d'água é grande forma-se uma névoa, sendo assim, considerado como nebulização (Fig. 11).

Os componentes principais de um sistema de nebulização consistem de:

Conjunto moto bomba - é o organismo responsável para imprimir ao sistema a energia necessária à adução e distribuição de água.

Tubulações - as tubulações para melhor definição poderão ser divididas em:

- 1- **Linha de suprimento** – para conduzir a água da fonte de abastecimento à linha principal.
- 2- **Linha principal** – normalmente situada no centro ou nos limites do aviário, faz a ligação entre a linha de suprimento às linhas de nebulização.
- 3- **Linha de nebulização** – essa linha também chamada de secundária, ramal lateral ou dos nebulizadores, conduz a água da linha principal aos nebulizadores.

Nebulizadores - os nebulizadores têm a função de pulverizar o jato de água, distribuindo-o em forma de chuva. São os componentes essenciais e principal do sistema, determinando diretamente a qualidade, a eficácia e o rendimento da nebulização. Devem permitir certas condições de implantação, realizar uma nebulização uniforme, economia de água e energia.

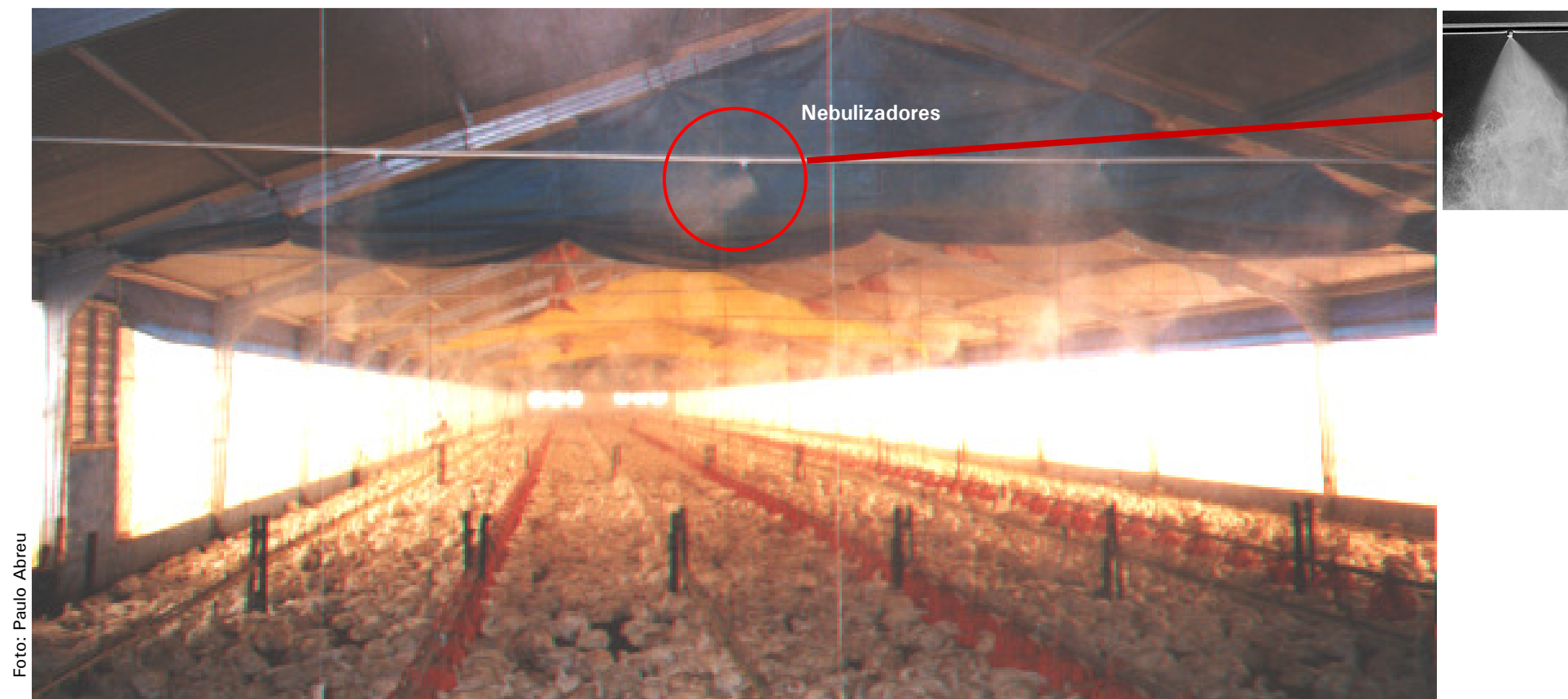


FIG. 11 – Sistema de nebulização.

Acessórios - os acessórios, constituídos de válvulas, filtros, registros, suportes e manômetros, melhoram a eficiência do conjunto. Apesar dos sistemas de nebulização não dispensarem filtros no próprio bico é imprescindível que a água seja de boa qualidade e isenta de sólidos em suspensão. Filtro de linha de fácil limpeza também deve ser instalado para limpezas preventivas e freqüentes.

A disposição das tubulações são em pente, fixas, podendo apresentar as variações apresentadas na Fig. 12.

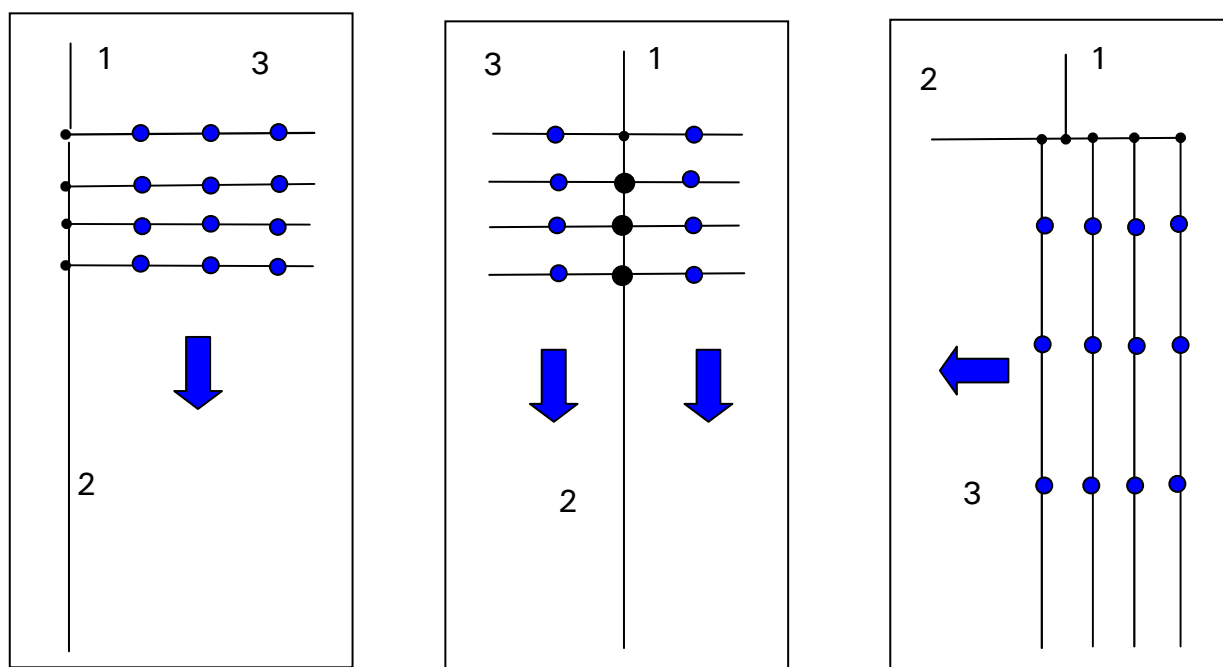
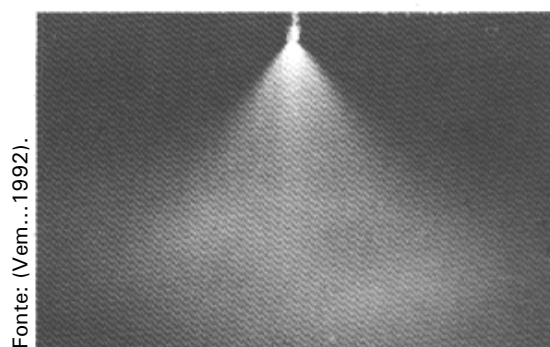


FIG. 12 - Disposição em pente das tubulações, do sistema de nebulização no interior do aviário. 1- Linha de suprimento; 2- Linha principal; 3-Linha de nebulização.

O sistema de nebulização pode ser classificado de acordo com a pressão de trabalho em baixa e alta pressão. Considera-se sistemas, de baixa pressão 100-200 psi (7-14 bar) produzindo gotas de 30 microns e de alta pressão 400-600 psi (28-41 bar) produzindo gotas de 10-15 microns. Quanto maior a pressão, maior o custo de instalação e maior eficiência evaporativa do sistema. Para um mesmo bico nebulizador a vazão aumenta com a pressão. Para uma dada pressão, o fabricante recomenda o tipo de sistema que garanta bom desempenho do sistema. Pressão alta conduz a pulverização muito fina do jato, conduzindo a uma grande sensibilidade ao vento. Uma pressão de funcionamento superior aquela para a qual o bico foi concebido conduz a um mau funcionamento e a um desgaste do mesmo. Por outro lado, uma pressão muito baixa reduz o ângulo de pulverização e não permite boa eficiência do sistema. Para o jato atingir suas características plenas o sistema deve ser operado à pressão de trabalho. O ângulo de pulverização é uma boa medida de campo que permite observar o desempenho do sistema e deve estar próximo de 45°.

A uniformidade da nebulização depende da altura de instalação do sistema. A projeção do jato d'água não deve ser interrompida por equipamentos instalados no interior do aviário. Convém ressaltar que a sensibilidade do jato d'água ao vento, cresce com a altura de instalação do sistema.

O tamanho do diâmetro da gota também é um fato importante de ser observado uma vez que, um maior número de gotas com diâmetro pequeno permitem maior eficiência que um menor número de gotas com diâmetro grande. Isso porque, em um mesmo volume de água, gotas pequenas possuem maior área de contato e melhor troca térmica com o ar a ser resfriado que gotas com diâmetro grande. O tamanho da gota aumenta com o aumento da vazão do bico nebulizador e ângulos de pulverização maiores, produzem gotas mais finas ou menores. O jato pulverizado deve ser homogêneo e uniforme evitando a formação de estrias e gotas grandes que podem chegar facilmente ao piso umedecendo a cama (Fig. 13 e 14).



Fonte: (Vem...1992).

FIG.

Fonte: (Vem...1992)

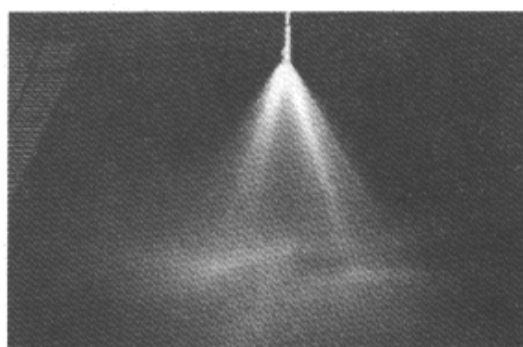
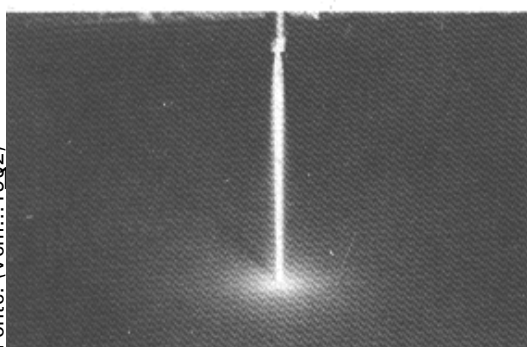


FIG. 14 – Distribuição da água em bicos pulverizadores defeituosos.

A uniformidade da distribuição do jato d'água não deriva unicamente dos bicos nebulizadores mas, do fato que todos os bicos do sistema não são alimentados com a mesma pressão, em razão das perdas de carga na rede. A variação da pressão conduz a variação de vazão, quebra da gota d'água e do jato, com distribuição desigual. Para diminuir esse efeito, é conveniente estabelecer que a variação de pressão entre bicos nebulizadores posicionados em condições mais e menos favoráveis não exceda a 20% da pressão média. Assim, a variação de vazão entre os bicos nebulizadores não supera a 10%. É bom lembrar ainda que a linha de suprimento deverá conduzir água em quantidade e pressão requeridas para o funcionamento das linhas principal e de nebulização.

Na Tabela 3, são apresentadas as principais formas de detectar problemas potenciais dos bicos nebulizadores.

TABELA 3 – Como detectar problemas potenciais dos bicos.

Características	Causas	Afeta	Problemas
Vazão Heterogênea	Qualidade, desgaste, filtro obstruído parcialmente, pressão/perda de carga.	Tamanho da gota, tempo de evaporação, eficiência da troca térmica.	Umidade na cama, desenvolvimento de bactérias, compactação da cama, mortalidade de aves.
Distribuição Individual	Qualidade, desgaste, entupimento parcial.		
Ângulo de Pulverização Heterogêneo entre Bicos	Qualidade, desgaste, filtro obstruído difusor mal posicionado.		

Fonte: (Vem...1992).

A seleção do conjunto motobomba é feita com base na vazão a ser recalçada e na altura manométrica da instalação (soma das alturas geométricas de sucção e recalque, pressão requerida de entrada do sistema e perdas de cargas). Com esses dados devem-se consultar os gráficos de seleção que definem, dentro da linha de produção de cada fabricante, o tipo de bomba capaz de atender aos requisitos de funcionamento.

A vazão dos nebulizadores se exprime geralmente em l/h segundo o tipo de sistema e pode variar de 4 a 8 l/h, dependendo do material dos bicos ser de poliacetal, metal porcelana ou cerâmica.

A altura de instalação dos bicos nebulizadores, a distribuição das linhas de nebulização no aviário e a distribuição dos bicos nebulizadores nessas linhas devem ser bem planejadas para que o sistema forneça nebulização uniforme, sem formação de zonas mortas e não molhe a cama. Para promover uma homogeneização do jato

d'água os avicultores contam com a ventilação natural ou mecânica. Sendo a região onde será implantado o aviário, bem ventilada, o avicultor normalmente opta pela ventilação natural como redutor do custo de implantação do sistema. Porém, não se pode contar todo tempo com a ventilação natural uma vez que essa não é uniforme (muda de direção e intensidade constantemente). Se a opção for pela ventilação natural, com distribuição uniforme das linhas de nebulização e dos bicos nessas linhas, podem ocorrer duas situações desfavoráveis:

1. Uma lateral com cortina abaixada e outra com cortina suspensa (Fig.15) – a lateral aberta em que o vento incide ficará com zona morta (sem receber nebulização) e a outra lateral receberá grande quantidade de água que encontrando a cortina como barreira, escorre e molha a cama. Na região interna do aviário, da lateral com cortina aberta, tem-se observado maior mortalidade de aves e próximo à outra lateral, grande faixa com cama molhada.

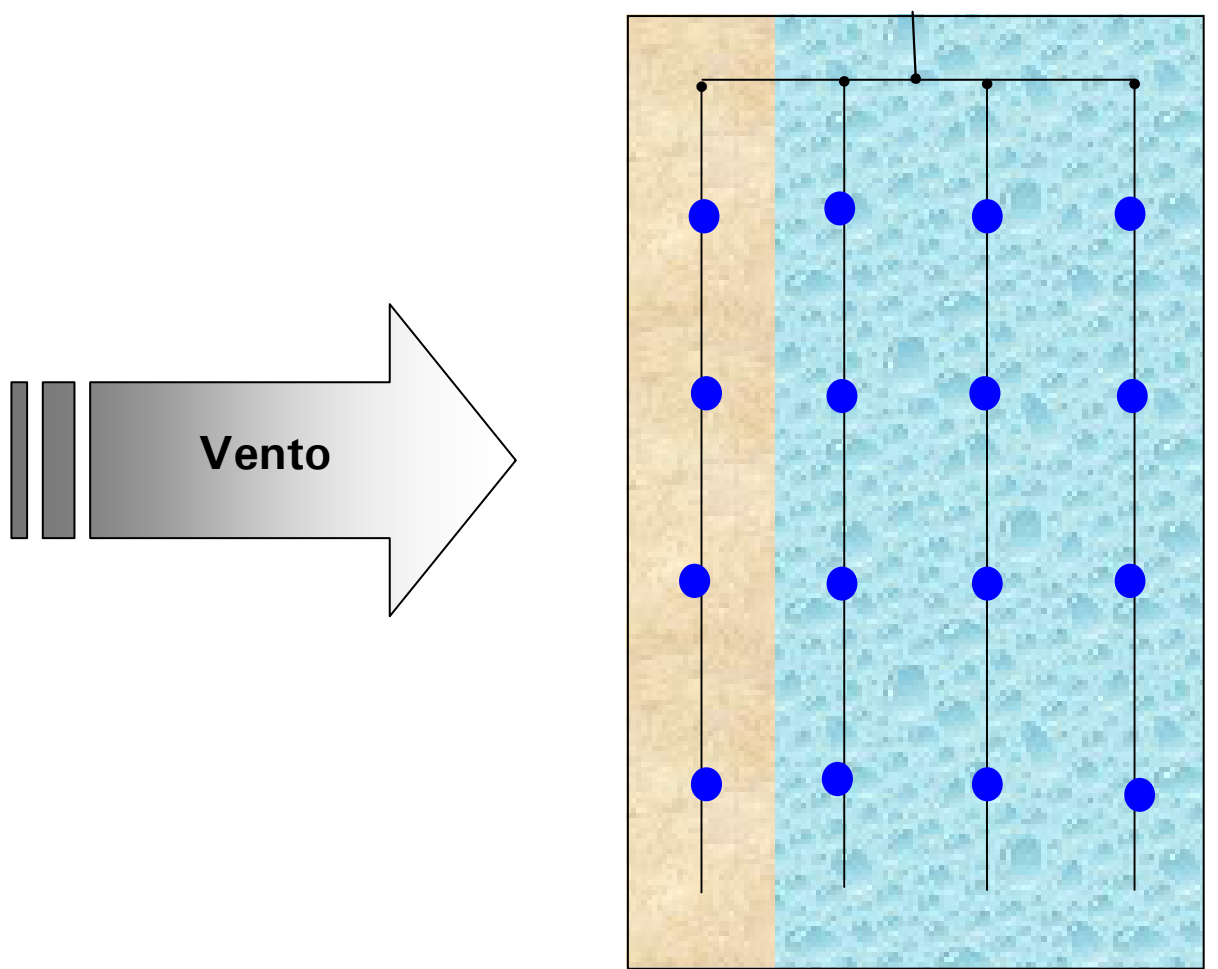


FIG. 15 – Esquema de aviário com sistema de nebulização, uma lateral com cortina abaixada e outra com cortina suspensa. Área azul – nebulização; área escura (zona morta).

2. As duas laterais com cortinas abertas (Fig.16) - a lateral aberta em que o vento incide tem o mesmo comportamento da situação anterior, porém, a outra lateral estando também aberta, a névoa aspergida, é impulsionada para fora do aviário pela força do vento. Assim, o sistema está tendo desperdício de água e não estará atendendo aos seus objetivos perfeitamente.

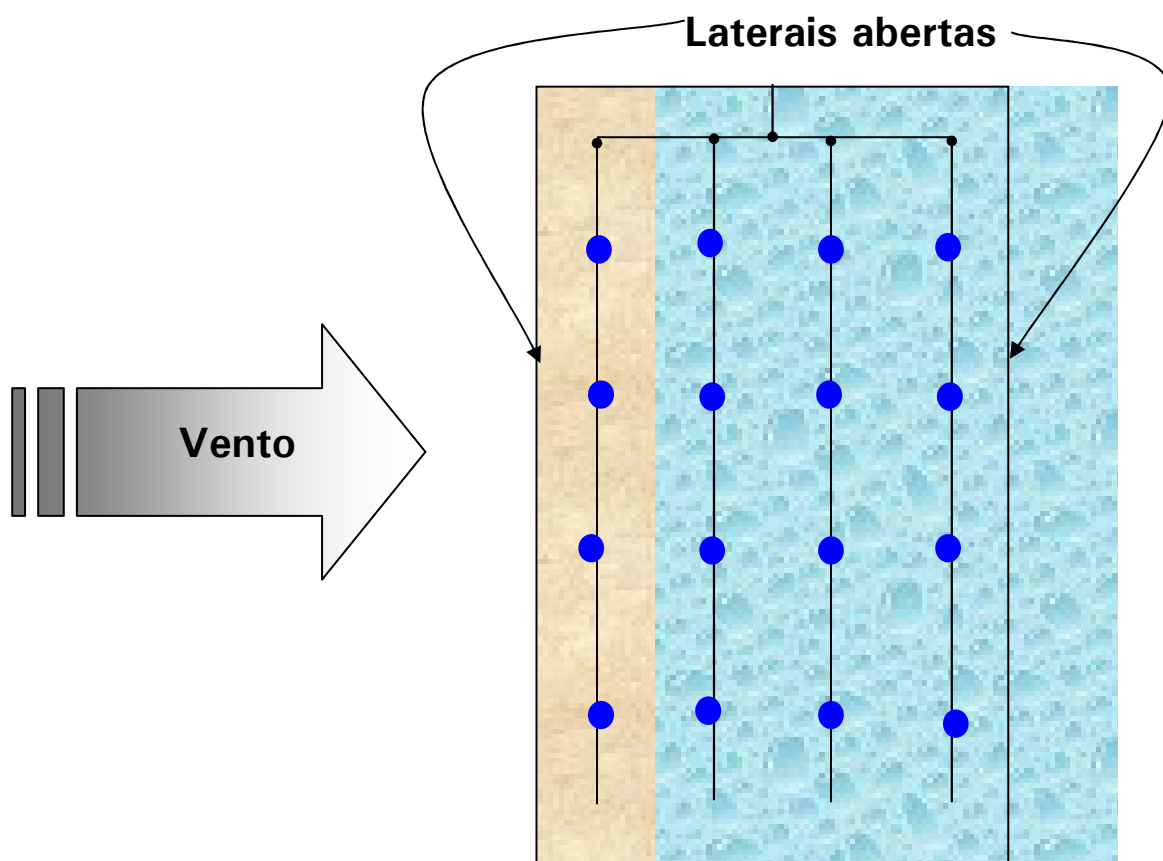


FIG. 16 - Esquema de aviário com sistema de nebulização, as duas laterais com cortinas abertas. Área azul – nebulização; área escura (zona morta).

Uma sugestão para solucionar os problemas discutidos anteriormente é o deslocamento das linhas de nebulização mantendo a lateral do aviário a barlavento com a cortina fechada (Fig. 17). Nessa situação, a primeira linha de nebulização é posicionada fora do aviário, em baixo do beiral.

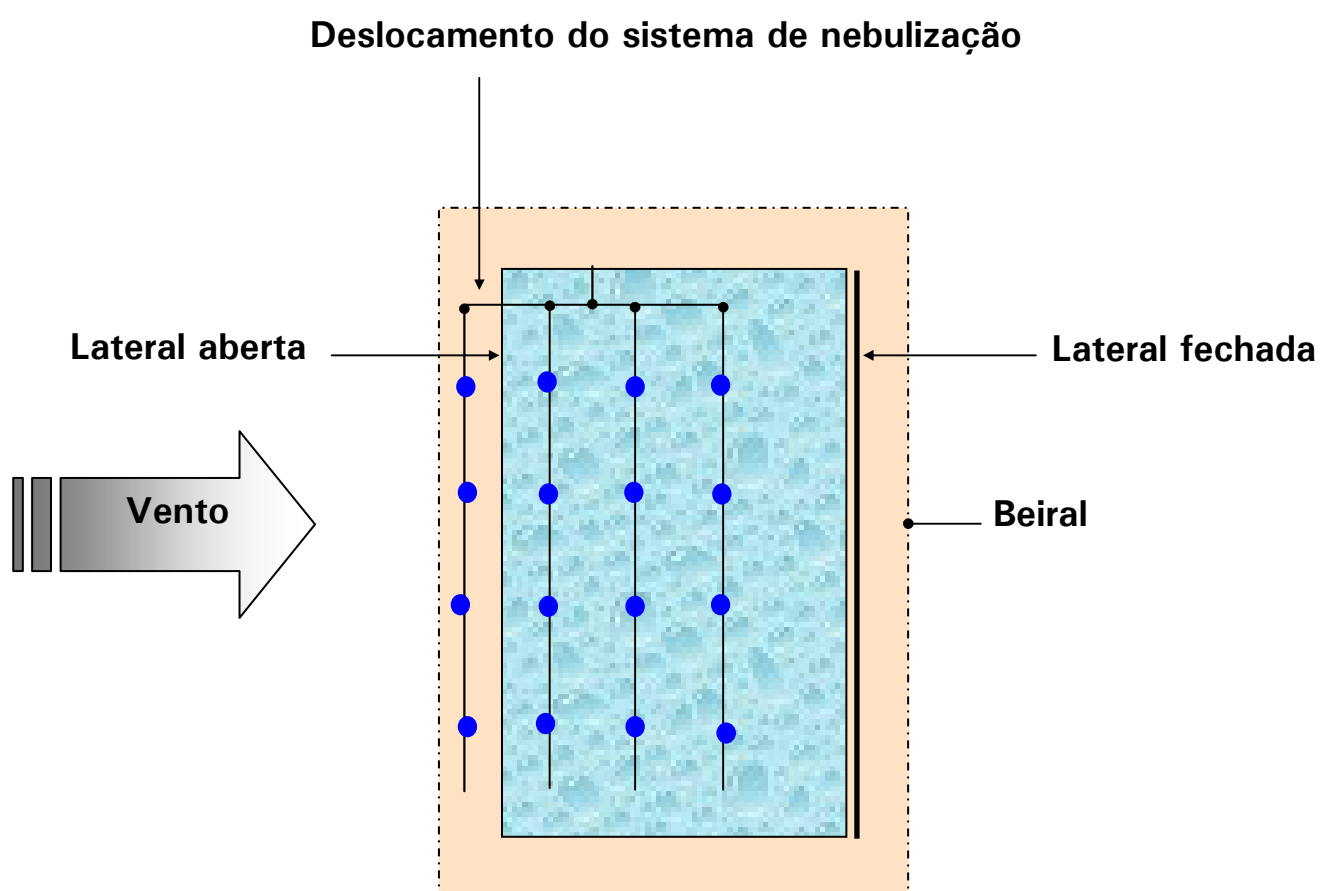


FIG. 17 - Esquema de aviário com sistema de nebulização deslocado.

Quando o avicultor optar pela ventilação mecânica deve estar consciente que o objetivo do uso de ventiladores em sistemas de nebulização, se resume na homogeneização da massa de ar no interior do aviário. Há duas opções de promover essa ventilação que poderá ser por exaustão ou pressão negativa e pressurização ou pressão positiva, dependendo do posicionamento dos ventiladores.

No sistema de nebulização com ventilação por exaustão, os nebulizadores são dispostos em linhas, no sentido longitudinal ou transversal ao aviário e os ventiladores são posicionados em uma das extremidades do aviário e na outra extremidade, são dispostas aberturas para entrada do ar (Fig. 18). Com o sistema em funcionamento os nebulizadores lançam a névoa de água no ambiente e sucessivamente os ventiladores são acionados, succionando o ar de uma extremidade à outra do aviário. Nesse processo a ventilação tipo túnel tem boa eficiência quando o aviário se encontra bem vedado (cortinas bem fechadas). A distribuição dos bicos nebulizadores não é uniforme, o número de bicos diminui da extremidade da entrada de ar para extremidade do aviário onde se encontram os ventiladores. É importante lembrar que nesse sistema o ar interno é succionado para fora do aviário. Assim sendo, o tempo de acionamento dos ventiladores e a velocidade do fluxo de ar tem que ser bem ajustados para que o ar resfriado internamente não seja eliminado rapidamente pelo sistema. O que ocorre na prática é que muitas vezes os nebulizadores são acionados, a temperatura interna abaixa, e logo em seguida ao desligamento dos nebulizadores, a temperatura se eleva. Um dos motivos disso ocorrer é porque o ar resfriado pelos nebulizadores é retirado do aviário rapidamente pelos ventiladores mostrando que os mesmos não estão bem dimensionados para atuarem em conjunto com os nebulizadores.

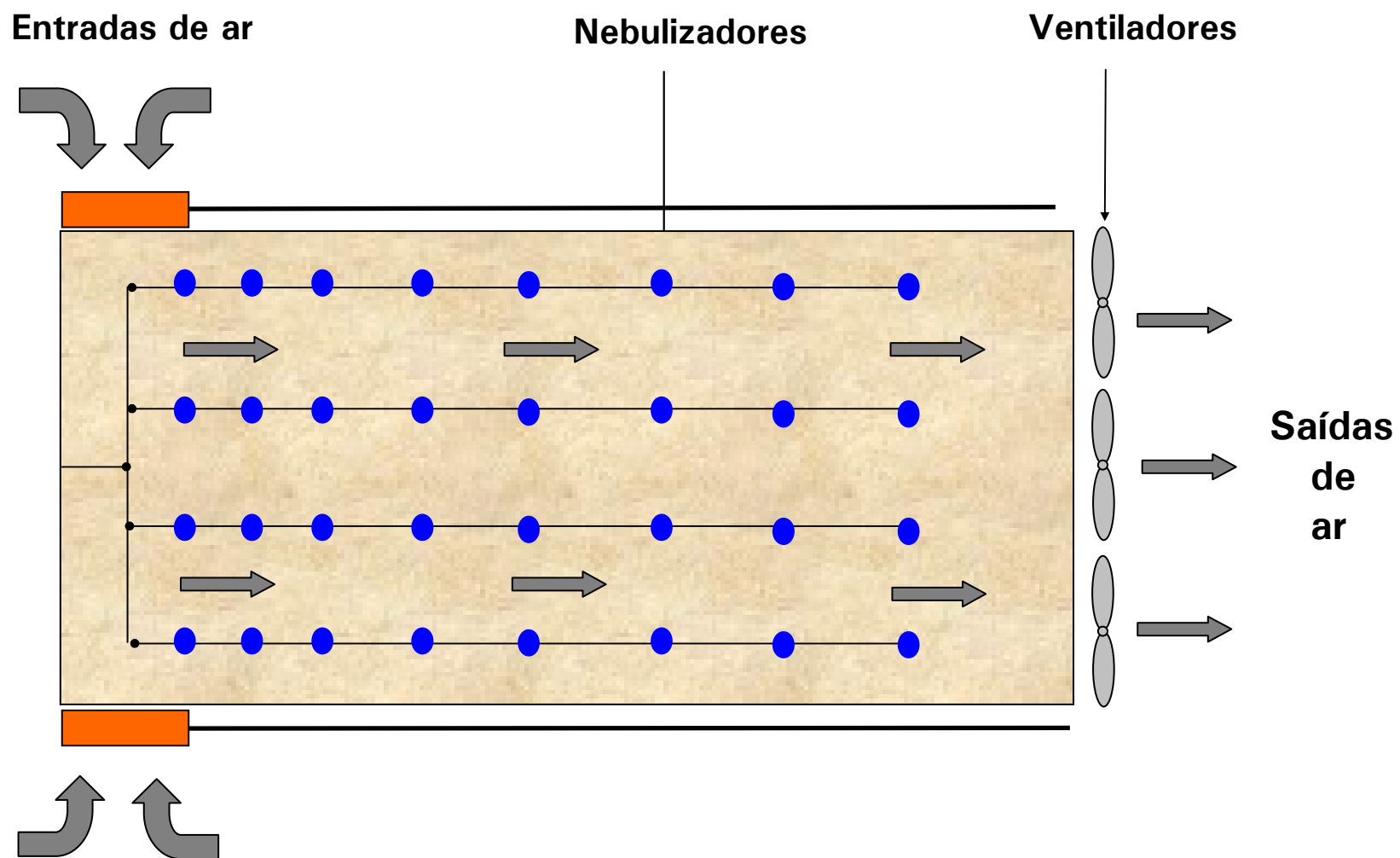


FIG. 18 – Sistema de nebulização com ventilação mecânica por exaustão.

No sistema de nebulização com ventilação mecânica positiva, os nebulizadores são dispostos em linhas, no sentido longitudinal ou transversal ao aviário e os ventiladores dispostos de duas formas distintas: com fluxo de ar transversal com cortinas do aviário abertas ou fluxo de ar longitudinal com cortinas do aviário fechadas, também conhecido como sistema de ventilação tipo túnel.

No sistema de nebulização associado ao fluxo de ar transversal, os ventiladores são posicionados em uma das laterais do aviário, no sentido dos ventos dominantes, ligeiramente inclinados para baixo. Dessa forma o ar é forçado lateralmente de fora para dentro do aviário saindo pela outra lateral (Fig. 19). Nesse sistema, como descrito, as cortinas laterais permanecem sempre abertas. Por ser aberto o aviário, o fluxo de ar fica de difícil controle devido a interferência da ventilação natural que varia de intensidade e direção prejudicando o sistema.

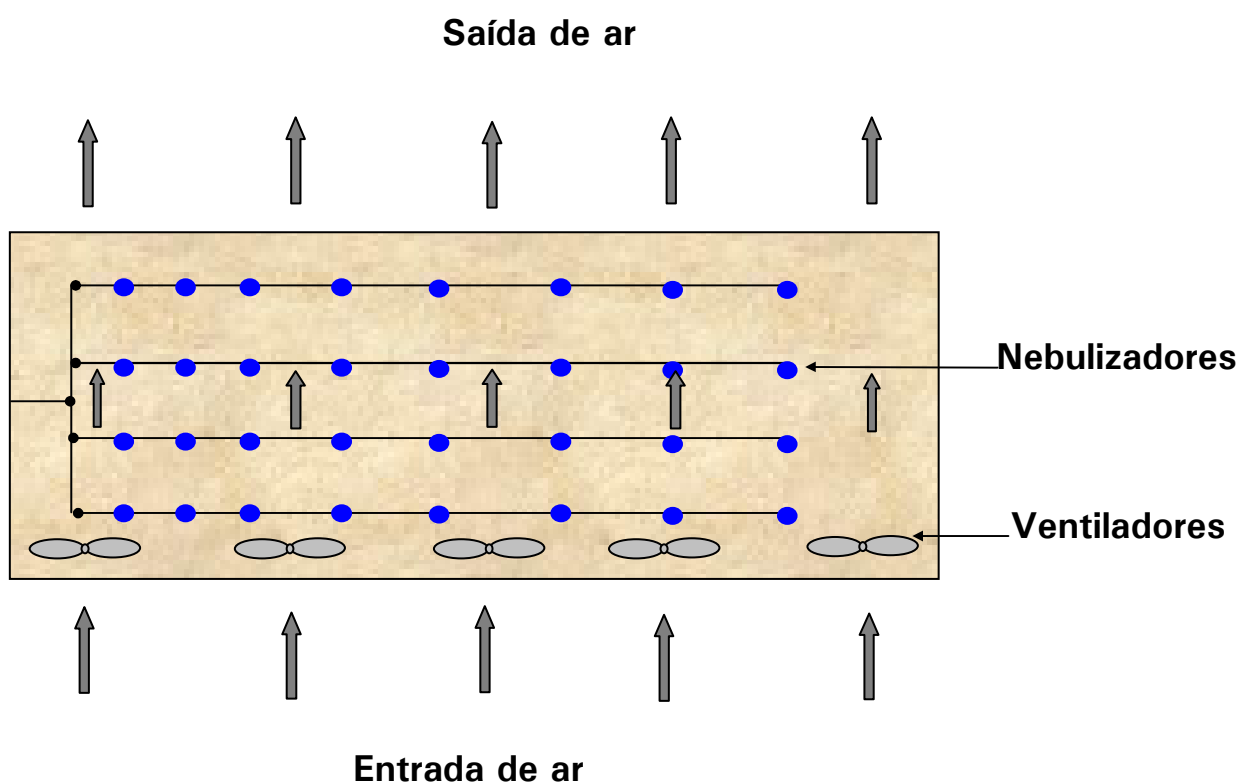


FIG. 19 – Sistema de nebulização com ventilação positiva, transversal.

A outra forma de realizar a nebulização associada à ventilação mecânica por pressão positiva é posicionando os ventiladores no sentido longitudinal do aviário. Nesse processo as cortinas laterais do aviário permanecem fechadas e bem vedadas para tornar a ventilação tipo túnel eficiente. O ar entra por uma das extremidades do aviário é carregado pelos ventiladores, que são posicionados ao longo do comprimento, e pressionado a sair pela extremidade oposta que permanece aberta (Fig.20). Nesse sistema o controle da ventilação é mais fácil porque não sofre tanta influência da ventilação natural, como no sistema anterior.

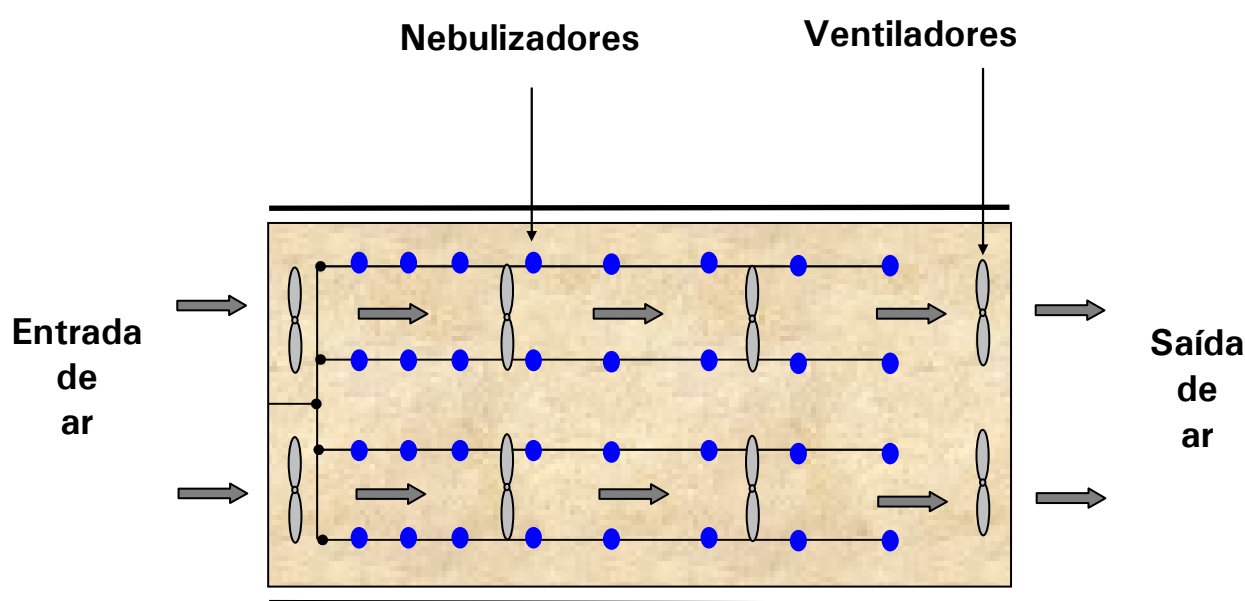


FIG. 20 - Sistema de nebulização com ventilação positiva, longitudinal (ventilação tipo túnel).

Uma boa homogeneização da massa de ar do aviário é conseguida posicionando os ventiladores em direções opostas (FIG. 21). Enquanto que nos sistemas de ventilação anteriores a massa de ar é carregada de uma extremidade a outra e extraída para fora do aviário, nesse sistema, as cortinas permanecem fechadas e a massa de ar é circulada, promovendo assim homogeneização do ar. A renovação de ar pode ser controlada em regiões com boa ventilação pelo manejo das cortinas (manual ou automático) ou pelo acionamento de alguns ventiladores mediante abertura das cortinas em tempos determinados, quando na região ou em determinado dia, a ventilação natural for insuficiente para promover renovação higiênica do ar interno do aviário. Para automatizar esses sistemas são utilizados termostatos, umidostatos e timer. Com a automatização do sistema há menor mão de obra e controle mais preciso do ambiente.

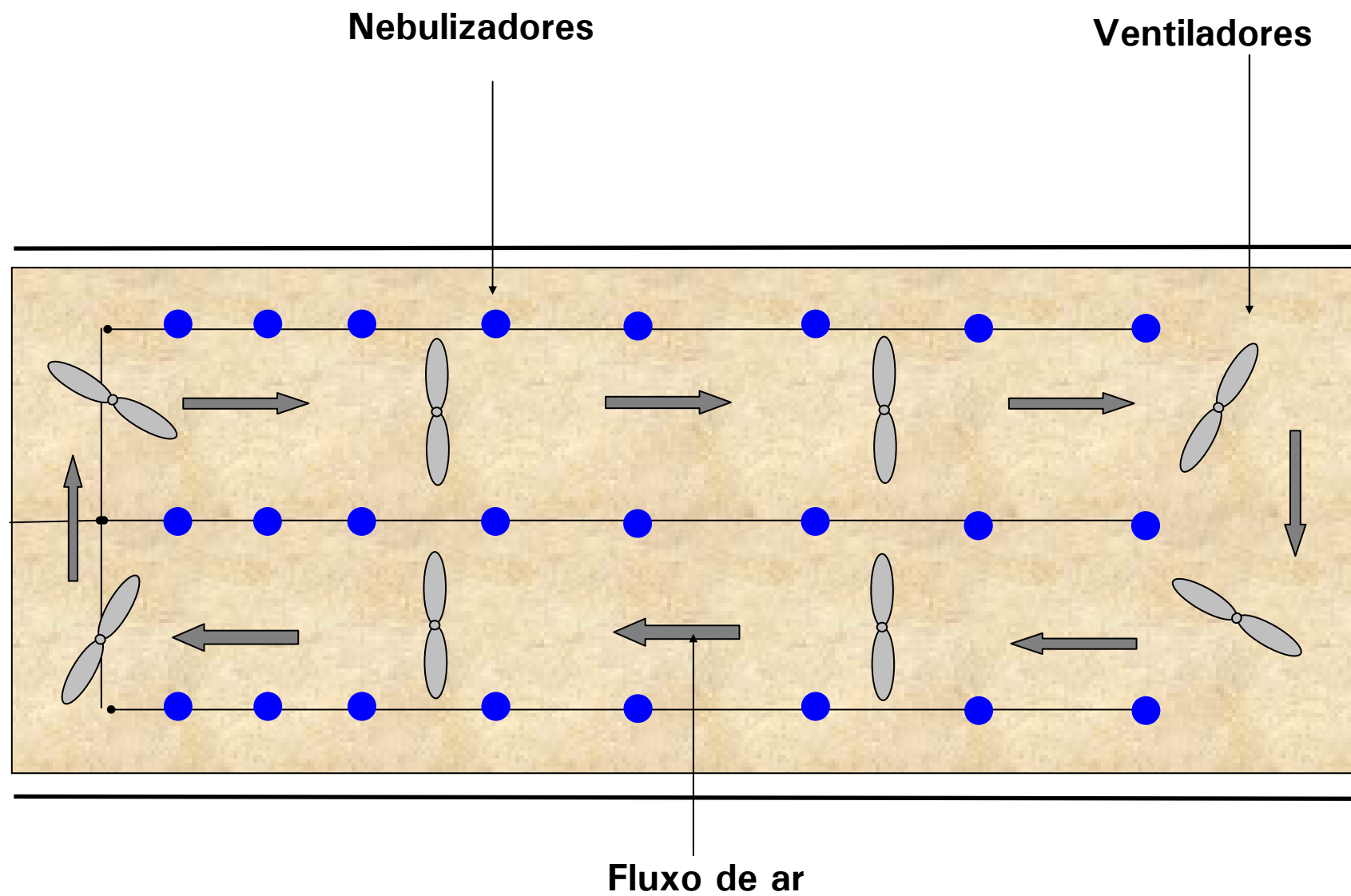


FIG. 21 - Sistema de nebulização com ventilação circular interna.

6 – DIMENSIONAMENTO DOS RESFRIADORES

Para promover melhores condições de conforto térmico nos aviários, durante o estresse calórico com o uso de resfriamento evaporativo, sugere-se um bom dimensionamento do mesmo com o objetivo de obter maior eficiência. O exemplo de dimensionamento dos resfriadores apresentado, segundo Timmons e Baughman (1983) leva em consideração:

- * Aviário com dimensões de 12 m x 125 m

- * Capacidade do ventilador $Q_v = 500 \text{ m}^3/\text{min}$

$$10 \text{ ventiladores} \times 500 \text{ m}^3/\text{min} = 5.000 \text{ m}^3/\text{min}$$

- * Eficiência evaporativa, ou seja, a quantidade de água emitida pelos bicos nebulizadores para a capacidade de absorção de água do ar ventilado igual a $E = 40\%$.

- * Capacidade do nebulizador = 5,5 l/hora

O ar se encontra a 35°C com umidade relativa de $23,7\%$. Para a saturação (Umidade relativa do ar = 100%), a temperatura será de 20°C (Fig. 22).

A diferença entre a razão de mistura final e inicial (ΔW) é:

$$W_i = 8,2 \text{ g/kg} = 0,0082 \text{ kg/kg}$$

$$W_f = 14,8 \text{ g/kg} = 0,0148 \text{ kg/kg}$$

$$\Delta W = 0,0148 - 0,0082 = 0,0047 \text{ kg/kg}$$

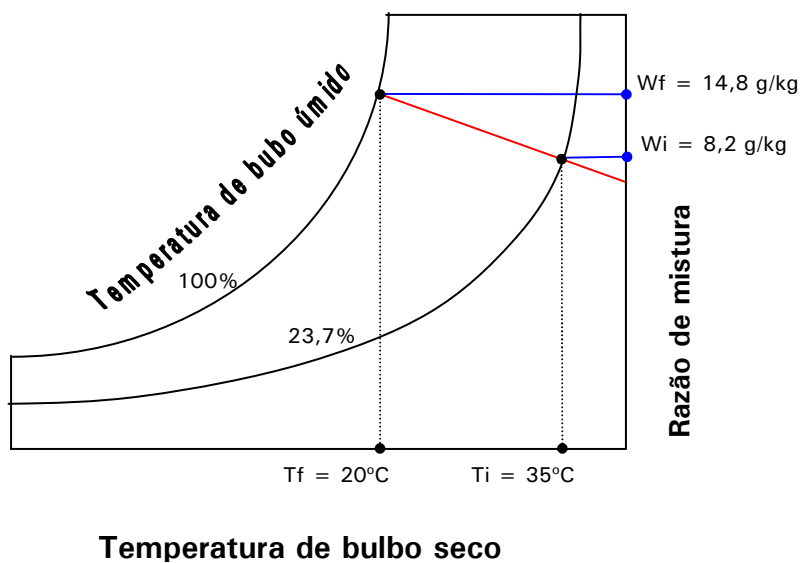


FIG. 22 – Exemplo de processo psicrométrico para o resfriamento adiabático

O número de bicos nebulizadores para a condição do ar exemplificada, será:

Capacidade do nebulizador $Q_n = 5,5 \text{ l/hora} = 0,0916 \text{ l/min}$

N = número de nebulizadores

Densidade da água $\rho_{\text{água}} = 1 \text{ kg/l}$

Densidade do ar em função da temperatura ambiente $\rho_{\text{ar}} = 1,1314 \text{ kg/m}^3$

(Tabela 4).

TABELA 4 – Valores da densidade do ar em função da temperatura (Incropera e DeWitt, 1985)

T (°C)	ρ (kg/m ³)	T (°C)	ρ (kg/m ³)	T (°C)	ρ (kg/m ³)	T (°C)	ρ (kg/m ³)
0	1,2852	13	1,2233	26	1,1614	39	1,1181
1	1,2804	14	1,2185	27	1,1581	40	1,1148
2	1,2757	15	1,2138	28	1,1547	41	1,1115
3	1,2709	16	1,2090	29	1,1514	42	1,1082
4	1,2662	17	1,2043	30	1,1481	43	1,1048
5	1,2614	18	1,1995	31	1,1448	44	1,1015
6	1,2566	19	1,1947	32	1,1414	45	1,0982
7	1,2519	20	1,1900	33	1,1381	46	1,0948
8	1,2471	21	1,1852	34	1,1348	47	1,0915
9	1,2423	22	1,1804	35	1,1314	48	1,0882
10	1,2376	23	1,1757	36	1,1281	49	1,0849
11	1,2328	24	1,1709	37	1,1248	50	1,0815
12	1,2281	25	1,1662	38	1,1215	51	1,0782

$$N = \frac{E \times Q_v \times \rho_{ar} \times \Delta W}{Q_n \times \rho_{água}} \times 0,01$$

$$N = \frac{40 \times 5.000 \times 1,1314 \times 0,0066}{0,09166 \times 1} \times 0,01$$

$$N = 163 \text{ nebulizadores}$$

Para os sistemas de resfriamento *pad cooling*, o cálculo das dimensões dos painéis evaporativos é feito, de forma prática, em função da seção de entrada de ar. Essas dimensões podem ser obtidas pelos cálculos:

$$A = L \times H$$

em que,

A = área do painel evaporativo, m²

L = largura do aviário, m

H = altura média do aviário, considerando-se a metade do pé-direito mais a altura da cumeeira, m.

Considerando como exemplo, aviário com dimensões de 12 m x 125 m, pé direito de 2,5 m e altura da cumeeira de 5 m, a área necessária de painel evaporativo será:

$$A = 12 \times 3,75 = 45 \text{ m}^2$$

Como normalmente são utilizados painéis evaporativos nas duas laterais do aviário, cada painel terá 22,5 m². Existem vários tipos de painéis evaporativos, com espessura e altura variando de acordo com o fabricante. Normalmente os mais comuns são os de celulose. Optando-se por painéis de 1,8 m de altura serão necessários 2 painéis com dimensões de 1,8 m x 13 m para promover o resfriamento evaporativo.

7 – DESEMPENHO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO

O desempenho do resfriamento evaporativo está diretamente relacionado à capacidade para evaporar a água até certo grau de umidade relativa do ar. Para a análise do sistema de resfriamento evaporativo tem-se adotado a eficiência do resfriamento evaporativo ou eficiência de saturação definida como:

$$\eta = \frac{T_{bss} - T_{bsr}}{T_{bss} - T_{bur}} \times 100$$

em que:

- η = eficiência do resfriamento evaporativo, %;
- T_{bss} = temperatura de bulbo seco do ar antes do resfriamento, °C;
- T_{bsr} = temperatura de bulbo seco do ar resfriado, °C;
- T_{bur} = temperatura de bulbo úmido do ar resfriado, °C.

Para os sistemas de “pad cooling”, T_{bss} e T_{bur} correspondem às temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar externo ao aviário e T_{bsr} corresponde à temperatura de bulbo seco do ar após passagem pelo “pad cooling”.

A eficiência definida pela equação anterior é estritamente válida, somente quando, o sistema de resfriamento umedifica o ar a partir das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido (T_{bss} e T_{bur}), e resfria-o à temperatura de bulbo seco (T_{bsr}), na ausência de aquecimento sensível ou latente. Esse processo pode ser visto pela Fig. 23.

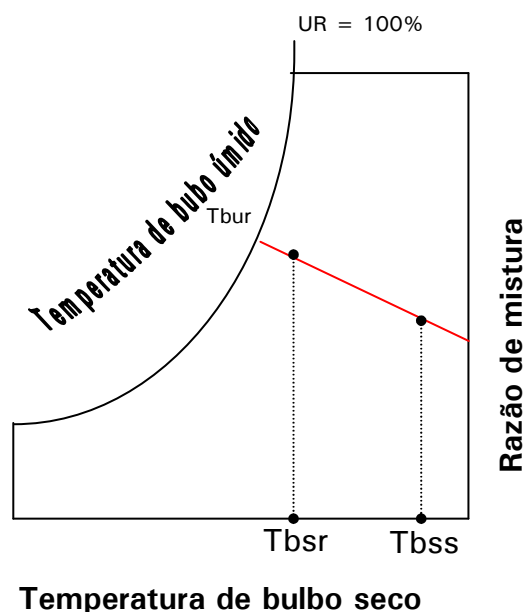


FIG. 23 – Processo psicrométrico para o resfriamento adiabático.

Entretanto, os sistemas de resfriamento operam no interior do aviário quando o ar é aquecido através do calor sensível das paredes, aves, iluminação, telhado e etc. O potencial do resfriamento evaporativo é afetado por essas cargas de calor bem como aumento da umidade relativa do ar devido a geração de calor latente pelos animais. Essas variáveis são apresentadas na Figura 19 (Bottcher et al., 1991). Os pontos A e D representam as condições inicial e final do resfriamento, respectivamente. Os pontos B e C são mostrados na Fig. 24 para distinguir os processos: a linha reta unindo os pontos A e B (AB), representa o calor sensível; a linha BC representa o aquecimento latente e a linha CD o resfriamento evaporativo. Em sistemas convencionais, o resfriamento evaporativo ocorre ao longo da linha de temperatura de bulbo úmido correspondente à T_e mas, os sistemas de resfriamento no interior dos aviários operam na linha de temperatura de bulbo úmido correspondente à T_f . Assim, o ponto inicial o qual ocorrerá o resfriamento evaporativo será dado pela temperatura de bulbo seco T_c .

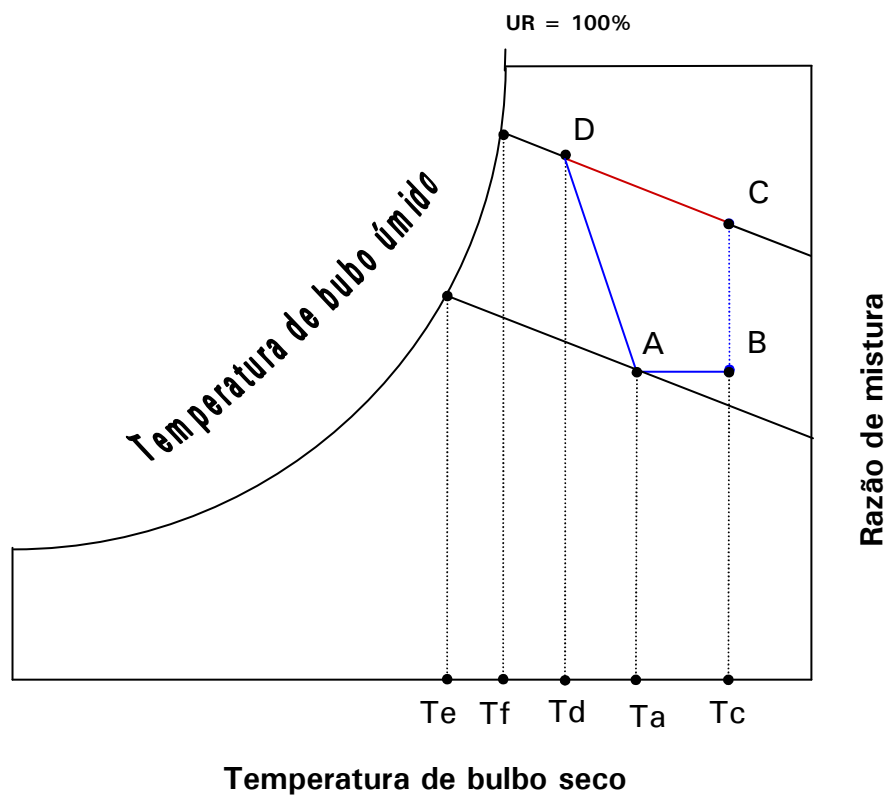


FIG. 24 – Processos psicrométricos que ocorrem em aviários equipados com sistema de resfriamento evaporativo.

Desta forma, a eficiência do resfriamento evaporativo no interior de aviários pode ser expressa como:

$$\eta = \frac{T_c - T_d}{T_c - T_f} \times 100$$

A temperatura T_c é obtida pela equação:

$$T_c = T_a + \frac{Q_s}{mC}$$

em que:

Q_s = calor sensível das aves, paredes, iluminação, etc., (W);

m = fluxo de massa da ventilação do ar, (kg/s);

C = calor específico do ar, J/(kg K)

Outra maneira de expressar a eficiência evaporativa é através da relação entre as razões de mistura do ar resfriado e pré-resfriado (Fig. 25).

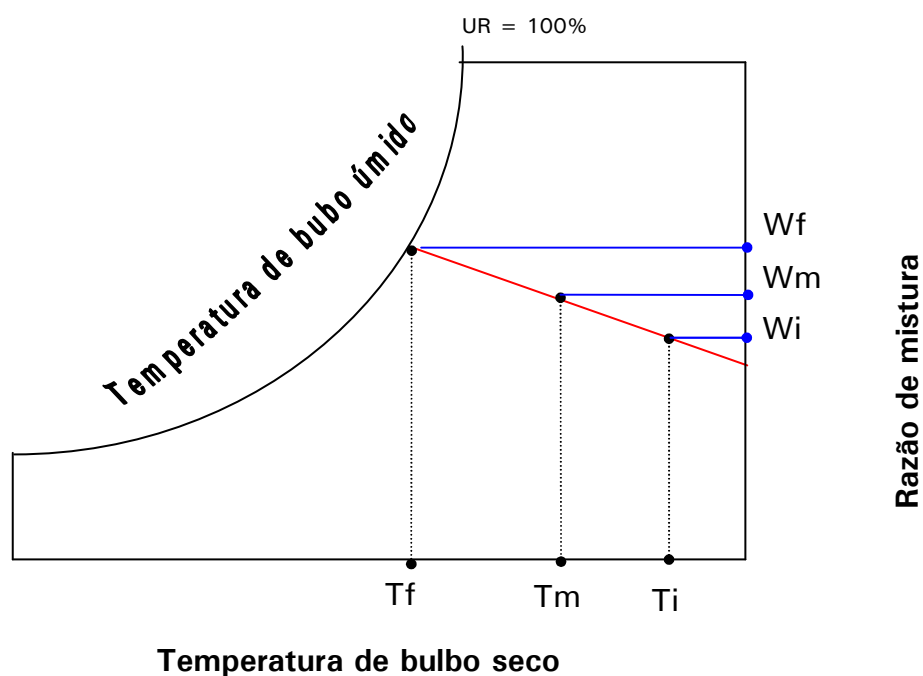


FIG. 25 – Processo psicrométrico para o resfriamento adiabático (evaporativo).

A equação para essa determinação é comumente definida como:

$$\eta = \frac{W_m - W_i}{W_f - W_i} \times 100$$

em que:

W_m = razão de mistura do ar após resfriamento, kg/kg;

W_i = razão de mistura do ar antes do resfriamento, kg/kg

W_f = razão de mistura do ar saturado, kg/kg

Como pôde ser visto o uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte consiste na redução da temperatura do ar com conseqüente aumento da umidade relativa. Essa é apenas uma forma de acondicionamento térmico artificial e que tem bom desempenho em regiões de clima quente e seco. Entretanto, nas regiões úmidas é preconizado a adoção desse sistema nas horas mais quentes do dia que são acompanhadas de baixa umidade do ar e maior estresse calórico. *

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R.; GATES, R. S.; TIMMONS, M. B. Characterizing efficiency of misting systems for poultry. Transactions of the ASAE, v.34, n.2, p.586-590, 1991.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras – recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA–CNPQ/ Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994, 640p.
- INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. Fundamentals of heat and mass transfer. Ottawa: John Wiley & Sons, 1985. 802p.
- MOREIRA, I. A. G. O espaço geográfico, geografia geral do Brasil. 22.ed. São Paulo, Ática, 1985. 280p.

TIMMONS, M. B., BAUGHMAN, G. R. Experimental evaluation of poultry mist-fog systems. Transactions of the ASAE, v.26, n.1, p.207-210, 1983.

Vem chegando o verão. Avicultura e Suinocultura Industrial, v.83, n.993, p.14-20, 1992.